



**FACULTAD DE INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSTGRADOS**

TRABAJO DE GRADO

ESTUDIANTE

NOMBRE: ANDRES JOSE RODRIGUEZ OSPINA

CÓDIGO:

NÚMERO TELEFÓNICO:

NÚMERO CELULAR: 3115305134

CORREO ELECTRÓNICO: andres_rod7@hotmail.com

TÍTULO: DISEÑO METODOLOGICO PARA LA ESTIMACION DE COSTOS DE PRODUCCIÓN DE SOLDADURA PARA EL MANTENIMIENTO DE LINEAS DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS.

ÁREA DE INVESTIGACIÓN: MATERIALES

CAMPO DE INTERÉS: SOLDADURA

DIRECTOR: HECTOR FERNANDO ROJAS MOLANO

PROFESIÓN: INGENIERO METALURGICO

MAT PROFESIONAL: CN231-27073

DIRECCIÓN: CRA 70 No 53 - 40Sede Bosque Popular. Ed. Laboratorios Of I- 203

CORREO ELECTRÓNICO: hectorf.rojasm@unilibrebog.edu.co

DIRECTOR DE PROYECTO

ESTUDIANTE

TABLA DE CONTENIDO

| | Pág. |
|---|------|
| ANTECEDENTES | IX |
| OBJETIVOS | XI |
| JUSTIFICACION | XII |
| 1 ESTIMACION DE RENDIMIENTOS PROCESOS DE SOLDADURA | 1 |
| 1.1 CARACTERISITCAS DEL ACERO API5L | 1 |
| 1.2 DESCRIPCION DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA POR ARCO | 3 |
| 1.2.1 Proceso SMAW (Shield Metal Arc Welding). | 3 |
| 1.2.2 Proceso GMAW (Gas Metal Arc Welding). | 4 |
| 1.2.3 Proceso FCAW (Flux Cored Arc Welding). | 5 |
| 1.2.4 Proceso GTAW (Gas Tungsten Arc Welding). | 5 |
| 1.3 SELECCIÓN DEL MATERIAL BASE | 6 |
| 1.3.1 Árbol de decisión. | 6 |
| 1.3.2 Criterio de selección. | 7 |
| 1.4 SELECCION DEL MATERIAL DE APORTE | 8 |
| 1.4.1 Rendimientos de materiales de aporte. | 10 |
| 2 DISEÑO PARA REPARACION DE TUBERIAS DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS | 11 |
| 2.1 DISEÑOS DE JUNTA | 11 |
| 2.1.1 Tipos de junta. | 11 |
| 2.1.2 Tipos de soldadura. | 13 |
| 2.1.3 Partes de la junta. | 14 |
| 2.1.4 Tamaño de la soldadura. | 15 |

| | | |
|-------|--|----|
| 2.2 | TIPOS DE CARGA | 17 |
| 2.2.2 | Temperatura. | 18 |
| 2.2.3 | Ambiente. | 18 |
| 2.2.4 | Cargas dinámicas. | 18 |
| 2.2.5 | Cargas estáticas. | 18 |
| 2.2.6 | Expansion térmica y cargas de contracción. | 18 |
| 2.2.7 | Movimientos relativos de los componentes conectados. | 19 |
| 2.3 | TIPOS DE ESFUERZO | 19 |
| 2.3.1 | Esfuerzos por presión (Hoop). | 19 |
| 2.3.2 | Esfuerzos por cargas sostenidas (Gravedad). | 20 |
| 2.3.3 | Esfuerzos por carga de expansión. | 22 |
| 2.3.4 | Flexibilidad. | 22 |
| 2.3.5 | Esfuerzos permisibles. | 24 |
| 2.4 | DISEÑO DE CAMISAS | 25 |
| 2.4.1 | Camisas tipo A. | 25 |
| 2.4.2 | Camisa tipo B. | 26 |
| 2.4.3 | Requisitos para construcción de camisas | 27 |
| 2.5 | TIPOS DE REPARACION PARA TUBERIA DE TRANSPORTE DE HIDROCARBURO SEGÚN NORMA ASME B31.4 | 29 |
| 2.5.1 | Remoción. | 30 |
| 2.5.2 | Esmerilar. | 30 |
| 2.5.3 | Deposición de metal de soldadura. | 30 |
| 2.5.4 | Camisas circulares. | 31 |
| 2.5.5 | Camisas compuestas. | 31 |
| 2.5.6 | Abrazaderas mecánicas. | 32 |
| 2.5.7 | Derivación en caliente. | 32 |
| 2.5.8 | Accesorios. | 32 |
| 2.5.9 | Parches y mitades. | 32 |
| 2.6 | METODOLOGIA PARA REPARACION DE LINEAS DE ACUERDO API 1104 | 33 |

| | |
|--|----|
| 3 ESTIMACION DE COSTOS DE PRODUCCION DE SOLDADURA PARA REPARACION DE TUBERIAS DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS | 36 |
| 3.1 VELOCIDAD DE DEPOSICION | 36 |
| 3.2 EFICIENCIA DE DEPOSICION | 36 |
| 3.3 FACTOR DE OPERACIÓN | 37 |
| 3.4 PESO DEL METAL DEPOSITADO | 38 |
| 3.5 COSTO DE MATERIAL DE SOLDADURA | 38 |
| 3.6 COSTOS DE MANO DE OBRA | 40 |
| 3.7 COSTOS DE ENERGIA ELECTRICA | 40 |
| 3.8 COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN | 41 |
| 3.9 COSTOS TOTAL DE SOLDADURA | 41 |
| 4 SIMULACION ECONOMICA PARA REPARACION DE TUBERIAS DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS | 42 |
| 4.1 DISEÑO DE LA BASE DE DATOS | 42 |
| 4.2 SIMULACION | 43 |
| 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 46 |
| 5.1 CONCLUSIONES | 46 |
| 5.2 RECOMENDACIONES | 47 |
| BIBLIOGRAFIA | 48 |
| ANEXOS | 51 |

LISTA DE FIGURAS

| | pág. |
|---|------|
| Figura 1. Proceso de soldadura por arco metálico protegido. | 4 |
| Figura 2. Proceso de soldadura por arco con alambre protegido por gas. | 4 |
| Figura 3. Proceso de soldadura por arco con alambre tubular. | 5 |
| Figura 4. Proceso de soldadura por arco con electrodo de tungsteno protegido por gas. | 6 |
| Figura 5. Árbol de decisión para selección de material base. | 8 |
| Figura 6. Tipos de Junta. | 12 |
| Figura 7. Tipos de juntas y espesores de lámina recomendado. | 13 |
| Figura 8. Tipos de soldadura. | 14 |
| Figura 9. Partes de la junta sin soldar. | 14 |
| Figura 10. Partes de la junta soldada. | 15 |
| Figura 11. Soldadura de ranura penetración parcial. | 15 |
| Figura 12. Soldadura de ranura penetración completa. | 16 |
| Figura 13. Soldadura de filete lados iguales. | 16 |
| Figura 14. Soldadura de filete lados iguales. | 17 |
| Figura 15. Diagrama cuerpo libre de una tubería. | 19 |
| Figura 16. Esfuerzo por cargas sostenidas (Longitudinales). | 20 |
| Figura 17. Esfuerzo por cargas sostenidas (Momentos). | 21 |
| Figura 18. Camisa tipo A. | 26 |

| | |
|---|----|
| Figura 19. Camisa tipo B. | 26 |
| Figura 20. Soldadura de filete para camisa tipo B con espesores iguales o inferiores 1,4 espesor de la tubería. | 28 |
| Figura 21. Soldadura de filete para camisa tipo B con espesores superiores de 1,4 el espesor de la tubería. | 28 |
| Figura 22. Pasada temple. | 34 |
| Figura 23. Ensamble para calificación de procedimiento. | 34 |

LISTA DE TABLAS

| | pág. |
|--|------|
| Tabla 1. Grados de la tubería, grados del acero y condiciones de entrega. | 1 |
| Tabla 2. Composición química tubería PSL1, con espesores igual o menor a 25mm. | 2 |
| Tabla 3. Requerimiento de esfuerzo de tensión para tubería PSL1. | 2 |
| Tabla 4. Eficiencias de deposición. | 37 |
| Tabla 5. Factor de operación. | 38 |
| Tabla 6. Flujo de gas. | 40 |

SIMBOLOGIA

| | |
|---------------|--|
| P | Presión. |
| D | Diámetro externo de la tubería. |
| t | Espesor de la tubería. |
| M | Momento flector. |
| D | Diámetro externo de la tubería. |
| I | Momento de Inercia. |
| M_t | Momento torsor. |
| σ_{cp} | Esfuerzo circunferencial debido a la presión. |
| σ_{lp} | Esfuerzo longitudinal debido a la presión. |
| σ_{lg} | Esfuerzo longitudinal debido a las cargas de gravedad. |
| σ_l | Esfuerzo longitudinal. |
| τ | Esfuerzo cortante. |
| T_1 | Temperatura en el momento de la instalación. |
| T_2 | La máxima ó mínima temperatura de operación. |
| E | Módulo de elasticidad del acero. |
| α | Coeficiente de expansión térmica lineal. |
| ν | Relación de Poisson. |
| FE | Factor de soldadura de la unión. |
| $SMYS$ | Resistencia cedente mínima específica de la tubería. |

ANTECEDENTES

La tecnología de las uniones ha sido un factor determinante en el desarrollo de la industrialización, la soldadura como proceso de fabricación es uno de los métodos de unión más destacados y utilizados en los últimos años, es por esto que ha tenido un progreso vertiginoso; pocas son las cosas que se manejan hoy que no dependa de una unión soldada en alguna fase antes de llegar a nosotros. Por su extenso uso en diferentes industrias el conocimiento de los procesos de soldadura es esencial no solo para los ingenieros, sino también para los diseñadores, fabricantes y usuarios finales. [1], [2]

La soldadura es fundamental para la expansión y productividad de nuestras industrias, actualmente es uno de los principales medios de fabricación y reparación de productos metálicos. Como medio de fabricación la soldadura aporta rapidez, seguridad y gran flexibilidad, además disminuye los costos de fabricación, porque permite diseños más simples, elimina costosos modelos, de tal manera que la eficiencia y la economía pueden ser consideradas en el ensamblaje de materiales. [3]

Debido a la gran masificación del proceso de soldadura surgieron varias organizaciones e institutos dedicados a establecer lineamientos para las actividades relacionadas con la industria de la soldadura, con el propósito de asegurar que se diseñen y produzcan bienes soldados seguros y confiables, entre estos organismos se destacan la AWS, IIW, ANSI, ASME¹. [4]

La gran variedad de procesos que involucran la soldadura actualmente ha acentuado la necesidad de considerar los costos de producción cuando se siguen distintos caminos de fabricación. Dentro del mantenimiento de estructuras metálicas se tiene principalmente el uso de soldaduras por arco, es por este motivo que nos enfocaremos en este tipo de procesos los cuales son de mayor aplicabilidad en construcción y mantenimiento. [5], [6].

Todos los usuarios de soldadura están confrontados con el problema de cómo determinar adecuadamente los costos en soldadura, los costos reales de las operaciones de soldadura guardan muy poca relación con los costos presupuestado, entonces se debe establecer las variables reales que influyen en

¹ AWS: American Welding Society; IIW: Institute International of Welding, ANSI: American National Standards Institute; ASME: American Society Mechanical Engineer.

el proceso de manufactura de la unión soldada, el conocimiento de estas variables permitirá aplicar eficientemente un mejor control de costos. [7]

Dependiendo del proceso, el costo total para la ejecución de un proyecto puede variar, desde económico para métodos como la soldadura de arco a extremadamente costoso para métodos como la soldadura de rayo láser y la soldadura de haz de electrones. Debido a su alto costo, estos últimos métodos son solamente utilizados en operaciones de alta producción. Para los métodos manuales de soldadura, los costos de trabajo generalmente depende del tiempo de operación (arco), como respuesta muchas medidas de ahorro de costo se enfocan en la maximizar este tiempo, para realizar esto, pueden seleccionarse procedimientos de soldadura con altas velocidades de deposición y los parámetros de soldadura pueden ajustarse para aumentar la velocidad de la soldadura. [8]

Entre algunos aspectos a tomar en cuenta en el desarrollo del presente proyecto encontramos metodologías para el diseño de cálculo de uniones de soldadas, establecimiento de eficiencias de los diferentes procesos, implementación de sistemas informáticos que permitirán servir como referencia en la toma de decisiones para la selección más adecuada del proceso de soldadura a partir de una viabilidad técnica y económica.

OBJETIVOS

GENERAL:

Establecer la metodología para la estimación de costos de producción de soldadura de mantenimiento para las líneas de transporte de hidrocarburos.

ESPECIFICOS:

- Estimar los rendimientos como base de medición de eficiencia de los procesos de soldadura aplicables.
- Determinar la metodología para la base y supuestos de cálculo para los diferentes tipos de diseños de junta según necesidades del proyecto.
- Diseñar la base de datos técnica y financiera que permita soportar la toma de decisiones según valoración técnica y económica.
- Simular casos prácticos en la base de datos que permiten contrastar y verificar los resultados obtenidos

JUSTIFICACION

El establecimiento de estándares permitirá facilitar, reconocer y estimar las cantidades reales de consumibles, personal técnico requerido, tiempos de fabricación, con el cual se presupuestan los proyectos de mantenimiento, estos estándares de alguna forma permitirán controlar perdidas en los materiales consumibles (electrodos, gas, fundente) y minimizar tiempos improductivos, lo cual se traduce en la generación de valor agregado² y el alcance en los tiempos de entrega pronosticados en el cronograma de actividad. [9], [10].

El establecimiento de parámetros de diseño de las uniones soldadas está orientado en función de la minimización de concentración de esfuerzos, fatiga y deformaciones; en las condiciones de servicio a la cual será sometida la pieza (temperatura – corrosión – desgaste), aspectos metalúrgicos (soldabilidad – riesgos de fisuración) los cuales permitirán obtener diseños confiables, seguros, económicos a través de la racionalización de materiales. [11], [12]

Los desafíos actuales en las empresas, radican en la toma de decisión en tiempo real lo cual permite establecer diferencias de competitividad, es por esto que el diseño e implementación de una base de datos nos permitirá analizar, evaluar y soportar decisiones a partir del diseño de la junta, así como la selección más adecuada del proceso de soldadura que se ajuste a las necesidades del proyecto de mantenimiento en líneas de transporte de hidrocarburos a ejecutar. [13]

² Valor Agregado: [Valor](#) adicional que adquieren los [bienes](#) y servicios al ser transformados durante el [proceso productivo](#). (www.wikipedia.org)

1 ESTIMACION DE RENDIMIENTOS PROCESOS DE SOLDADURA

1.1 CARACTERISITCAS DEL ACERO API5L

Este estándar internacional contiene los requerimientos específicos de la manufactura de nivel de especificación de dos productos (PSL1, PSL2) sin costura y con costura, para el uso de línea de tubería en sistema de transporte en la industria del petróleo y gas. [14]

La tubería nivel PSL1 es identificada como el grado de acero (llamado por un nombre de acero) el cual consiste de una designación alfa o alfanumérica que identifica el nivel de esfuerzo de la tubería y asociado a la composición química de la misma. [15]

Tabla 1. Grados de la tubería, grados del acero y condiciones de entrega.

| PSL | CONDICIONES DE ENTREGA | GRADO DE LATUBERIA / GRADO DEL ACERO |
|------|--|--------------------------------------|
| PSL1 | ROLADO, ROLADO NORMALIZADO, NORMALIZADO O FORMADO NORMALIZADO | L175 Ó A25 |
| | | L175 Ó A25 |
| | | L210 Ó A |
| | ROLADO, ROLADO NORMALIZADO, ROLADO TERMOMECHANICO, FORMADO TERMOMECHANICO, FORMADO NORMALIZADO, NORMALIZADO, NORMALIZADO Y REVENIDO, TEMPLADO Y REVENIDO | L245 Ó B |
| | | L290 Ó X42 |
| | | L320 Ó X46 |
| | ROLADO, ROLADO NORMALIZADO, ROLADO TERMOMECHANICO, FORMADO TERMOMECHANICO, FORMADO NORMALIZADO, NORMALIZADO, NORMALIZADO Y REVENIDO, TEMPLADO Y REVENIDO | L360 Ó X52 |
| | | L390 Ó X56 |
| | | L415 Ó X60 |
| | | L450 Ó X65 |
| | | L485 Ó X70 |

Fuente API5L 44TH edition. Specification for line pipe. Página 13.

A continuación se hace referencia en las siguientes tablas a las principales características de estos aceros (composición química y esfuerzo de tensión).

Tabla 2. Composición química tubería PSL1, con espesores igual o menor a 25mm.

| GRADO DEL ACERO | FRACCION DE MASA, BASADO EN LA COLADA O ANALISIS DEL PRODUCTO % | | | | | | |
|----------------------------|---|------|-------|------|------|-----|-----|
| | C | Mn | P | S | V | Nb | Ti |
| TUBERIA SIN COSTURA | | | | | | | |
| L175 Ó A 25 | 0,21 | 0,6 | 0 | 0,03 | 0,03 | 0 | 0 |
| L175P Ó A 25P | 0,21 | 0,6 | 0,045 | 0,08 | 0,03 | 0 | 0 |
| L210 Ó A | 0,22 | 0,9 | 0 | 0,03 | 0,03 | 0 | 0 |
| L245 Ó B | 0,28 | 1,2 | 0 | 0,03 | 0,03 | c,d | c,d |
| L290 Ó X42 | 0,28 | 1,3 | 0 | 0,03 | 0,03 | d | d |
| L320 Ó X46 | 0,28 | 1,4 | 0 | 0,03 | 0,03 | d | d |
| L360 Ó X52 | 0,28 | 1,4 | 0 | 0,03 | 0,03 | d | d |
| L390 Ó X56 | 0,28 | 1,4 | 0 | 0,03 | 0,03 | d | d |
| L415 Ó X60 | 0,28 | 1,4 | 0 | 0,03 | 0,03 | f | f |
| L450 Ó X65 | 0,28 | 1,4 | 0 | 0,03 | 0,03 | f | f |
| L485 Ó X70 | 0,28 | 1,4 | 0 | 0,03 | 0,03 | f | f |
| TUBERIA CON COSTURA | | | | | | | |
| L175 Ó A 25 | 0,21 | 0,6 | 0 | 0,03 | 0,03 | 0 | 0 |
| L175P Ó A 25P | 0,21 | 0,6 | 0,045 | 0,08 | 0,03 | 0 | 0 |
| L210 Ó A | 0,22 | 0,9 | 0 | 0,03 | 0,03 | 0 | 0 |
| L245 Ó B | 0,26 | 1,2 | 0 | 0,03 | 0,03 | c,d | c,d |
| L290 Ó X42 | 0,26 | 1,3 | 0 | 0,03 | 0,03 | d | d |
| L320 Ó X46 | 0,26 | 1,4 | 0 | 0,03 | 0,03 | d | d |
| L360 Ó X52 | 0,26 | 1,4 | 0 | 0,03 | 0,03 | d | d |
| L390 Ó X56 | 0,26 | 1,4 | 0 | 0,03 | 0,03 | d | d |
| L415 Ó X60 | 0,26 | 1,4 | 0 | 0,03 | 0,03 | f | f |
| L450 Ó X65 | 0,26 | 1,45 | 0 | 0,03 | 0,03 | f | f |
| L485 Ó X70 | 0,26 | 1,45 | 0 | 0,03 | 0,03 | f | f |

Fuente API5L 44TH edition. Specification for line pipe³. Página 24.

Tabla 3. Requerimiento de esfuerzo de tensión para tubería PSL1.

| GRADO DE LA TUBERIA | TUBERIA SIN COSTURA Y SOLDADA | | | TUBERIA SOLDADURA DE COSTURA EW, SAW, COW |
|---------------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------|---|
| | ESFUERZO DE FLUENCIA Mpa (psi) | ESFUERZO DE TENSION Mpa (psi) | ELONGACION % minimo | |
| L175 Ó A25 | 175 (25400) | 310 (45000) | a | 310 (45000) |
| L175 Ó A25 | 175 (25400) | 310 (45000) | a | 310 (45000) |
| L210 Ó A | 210 (30500) | 335 (48600) | a | 335 (48600) |
| L245 Ó B | 245 (35500) | 415 (60200) | a | 415 (60200) |
| L290 Ó X42 | 290 (42100) | 415 (60200) | a | 415 (60200) |
| L320 Ó X46 | 320 (46400) | 435 (63100) | a | 435 (63100) |
| L360 Ó X52 | 360 (52200) | 460 (66700) | a | 460 (66700) |
| L390 Ó X56 | 390 (56600) | 490 (71100) | a | 490 (71100) |
| L415 Ó X60 | 415 (60200) | 520 (75400) | a | 520 (75400) |
| L450 Ó X65 | 450 (65300) | 535 (77600) | a | 535 (77600) |
| L485 Ó X70 | 485 (70300) | 570 (82700) | a | 570 (82700) |

Fuente API5L 44TH edition. Specification for line pipe⁴. Página 27.

³ Los valores de Vanadio, Niobio y Titanio se pueden verificar en las notas anexas del API 5L 44TH edition. Specification for line pipe. Página 24.

⁴ Los valores de elongación se pueden verificar en las notas anexas del API 5L 44TH edition. Specification for line pipe. Página 27.

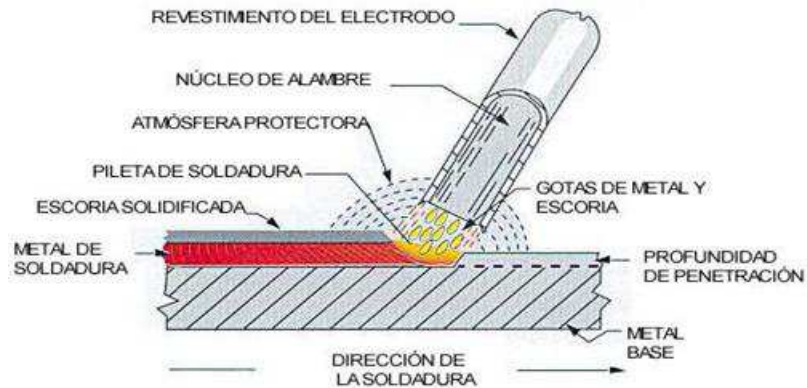
1.2 DESCRIPCION DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA POR ARCO

El arco eléctrico es el resultado de provocar un cortocircuito entre dos elementos, se produce al efectuarlo entre la pinza porta-electrodos y el metal base conectado a la pinza de masa, el arco de soldadura se caracteriza por su corriente alta y voltaje bajo que requiere de una alta concentración de electrones para transportar la corriente. [16], [17]

El calor producido por la intensidad de la corriente funde y pulveriza el metal del electrodo, esa temperatura ioniza la atmósfera de protección y se consigue el choque de electrones, que son expedidos por el electrodo protegidos por el flux o gas, este conjunto de metal fundido y gas sometidos a la velocidad que les imprime el arco se conoce como “plasma”. La circulación de los electrones –carga negativa- a través del arco, provoca el rozamiento entre ellos, siendo este rozamiento el que genera el calor, y junto con el producido por la intensidad generan el “calor del arco”. [18]

1.2.1 Proceso SMAW (Shield Metal Arc Welding). Es un proceso de soldadura por arco en el cual este es generado entre un electrodo recubierto y la pieza de trabajo. El calor debido al choque entre iones (+) y electrones (-) calienta las piezas entre las que se forma el arco, cuando se sobrepasa el punto de fusión de los metales se forma el baño de fusión y simultáneamente se funde la extremidad del electrodo formando pequeñas gotas de metal que se proyectan sobre el baño de metal fundido, su mezcla íntima produce el cordón de soldadura. La protección se obtiene a partir de la descomposición del recubrimiento, no se aplica presión y el metal de aporte procede principalmente del electrodo, es característico obtener una capa protectora denominada escoria. El electrodo utilizado en este procedimiento se compone de alma y revestimiento, el alma es una varilla metálica cubierta por el revestimiento. También se le conoce con los nombres de “soldadura manual”, “soldadura de varilla”. La siguiente figura ilustra de manera esquemática la operación de este proceso. [19], [20]

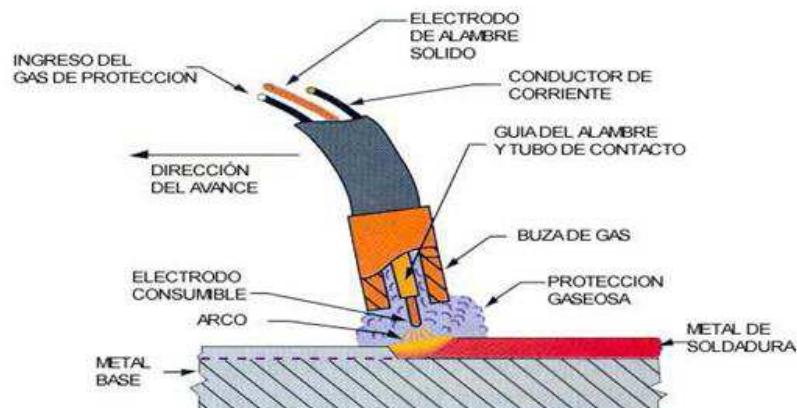
Figura 1. Proceso de soldadura por arco metálico protegido.



Fuente Tecnología de inspección de soldaduras. Modulo 3. Página 4.

1.2.2 Proceso GMAW (Gas Metal Arc Welding). Es un proceso de soldadura por arco en que este se establece entre un electrodo metálico continuo de aporte y el material base. La protección se obtiene por completo de un gas suministrado externamente y no se aplica a presión. En GMAW se emplea un alambre continuo, solido y desnudo, que tiene las funciones de servir como electrodo y como metal de aporte, y al no haber revestimiento como en el caso del proceso SMAW no se forma una capa de escoria, si no una película vítrea ligera. Este proceso también es conocido como MIG (Metal Inert Gas), MAG (Metal Active Gas) –dependiendo si se entrega protección con gases inertes o activos-, micro-alambre o “micro-wire”, entre otras designaciones. La siguiente figura ilustra de manera esquemática la operación de este proceso. [21]

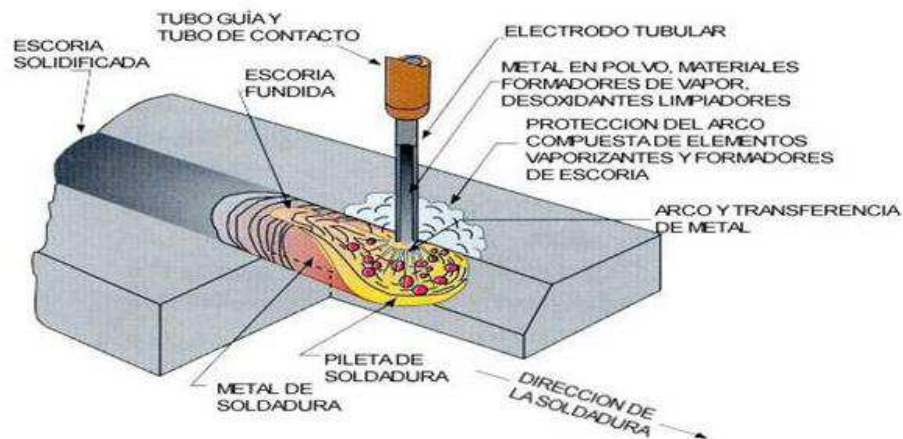
Figura 2. Proceso de soldadura por arco con alambre protegido por gas.



Fuente Tecnología de inspección de soldaduras. Modulo 3. Página 9.

1.2.3 Proceso FCAW (Flux Cored Arc Welding). Es un proceso de soldadura por arco, el cual se establece entre un electrodo de metal de aporte continuo y la pieza de trabajo. La protección se obtiene a través de la composición de un fundente contenido en el núcleo del electrodo tubular, y puede o no ser requerida una protección adicional con un gas o mezcla de gases que se suministra externamente. Algunos autores diferencian las dos modalidades, y denominan “auto protegidos” “innershield” ó “selfshield” a las aplicaciones que no requieren gas de protección y “protegidos” “outershield” o “dualshield” a las aplicaciones que si requieren gas de protección. El proceso de soldadura por arco con electrodo tubular continuo con núcleo de fundente se muestra en la siguiente ilustración. [22]

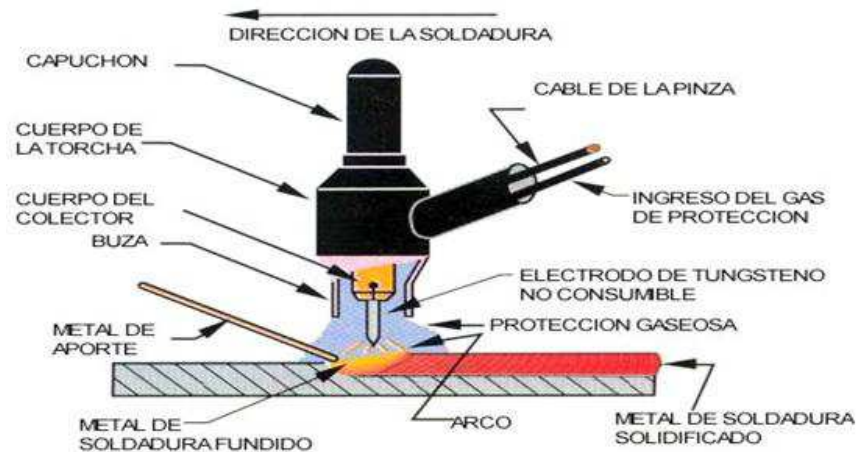
Figura 3. Proceso de soldadura por arco con alambre tubular.



Fuente Tecnología de inspección de soldaduras. Modulo 3. Página 14.

1.2.4 Proceso GTAW (Gas Tungsten Arc Welding). Es un proceso de soldadura por arco, el cual es establecido entre un electrodo de tungsteno no consumible y el metal base. El calor generado por el arco que se establece entre la punta del electrodo y la pieza de trabajo, funde el metal base y una vez que se produce el charco, la antorcha se mueve a lo largo de la junta, y si se requiere se emplea metal de aporte, normalmente se adiciona por el extremo frontal (hacia donde se desplaza la antorcha) del charco para llenar la junta. En este proceso se emplea gas de protección, no se aplica presión y puede ser utilizado con ó sin la adición de metal de aporte. El electrodo de tungsteno se encuentra alojado en la antorcha, a través de la cual también se alimenta el gas para proteger de la contaminación de la atmosfera al charco de soldadura, al arco y el electrodo.. Algunos nombres que se utilizan para designar a este proceso son “Argon-arc welding” y “soldadura de argon”. [23]

Figura 4. Proceso de soldadura por arco con electrodo de tungsteno protegido por gas.



Fuente Tecnología de inspección de soldaduras. Modulo 3. Página 17.

1.3 SELECCIÓN DEL MATERIAL BASE

1.3.1 Árbol de decisión. Un árbol de decisión es una forma grafica y analítica de representar todos los eventos (sucesos) que pueden surgir a partir de una decisión asumida en cierto momento, proporciona una forma para desplegar visualmente el problema y después organizar el trabajo de cálculos que deben realizarse, con el fin de tomar una serie de decisiones, estos análisis de decisión proporcionan un marco de trabajo y una metodología para la toma de decisiones racional cuando los resultados son inciertos. Los puntos de ramificación del árbol de decisión se conocen como nodos y los arcos se denominan ramas. Los nodos pueden ser de decisión los cuales indican la necesidad de elegir una decisión en ese punto del proceso, se encuentra representado por un cuadrado. Nodo de probabilidad el cual indica que en ese punto del proceso ocurre un evento aleatorio, representado por un círculo. [24], [25]

Dentro del nodo probabilístico del árbol de decisión se elige el enunciado propuesto por el señor Wilfredo Pareto el cual expuso el principio basándose en el denominado conocimiento empírico. Observó que la gente en su sociedad se dividía naturalmente entre los «pocos de mucho» y los «muchos de poco»; se establecían así dos grupos de proporciones 80-20 tales que el grupo minoritario, formado por un 20% de población, ostentaba el 80% de algo y el grupo mayoritario, formado por un 80% de población, el 20% de ese mismo algo. Estas cifras son arbitrarias; no son exactas y pueden variar. Su aplicación reside en la

descripción de un fenómeno y, como tal, es aproximada y adaptable a cada caso particular. El principio se ha aplicado con éxito a los ámbitos de la política y la Economía. [26]

En control de calidad, No obstante, el principio de Pareto permite utilizar herramientas de gestión, como el diagrama de Pareto, que se usa ampliamente en temas de control de calidad (el 80% de los defectos radican en el 20% de los procesos). Así, de forma relativamente sencilla, aparecen los distintos elementos que participan en un fallo y se pueden identificar los problemas realmente relevantes, que acarrearán el mayor porcentaje de errores. [27]

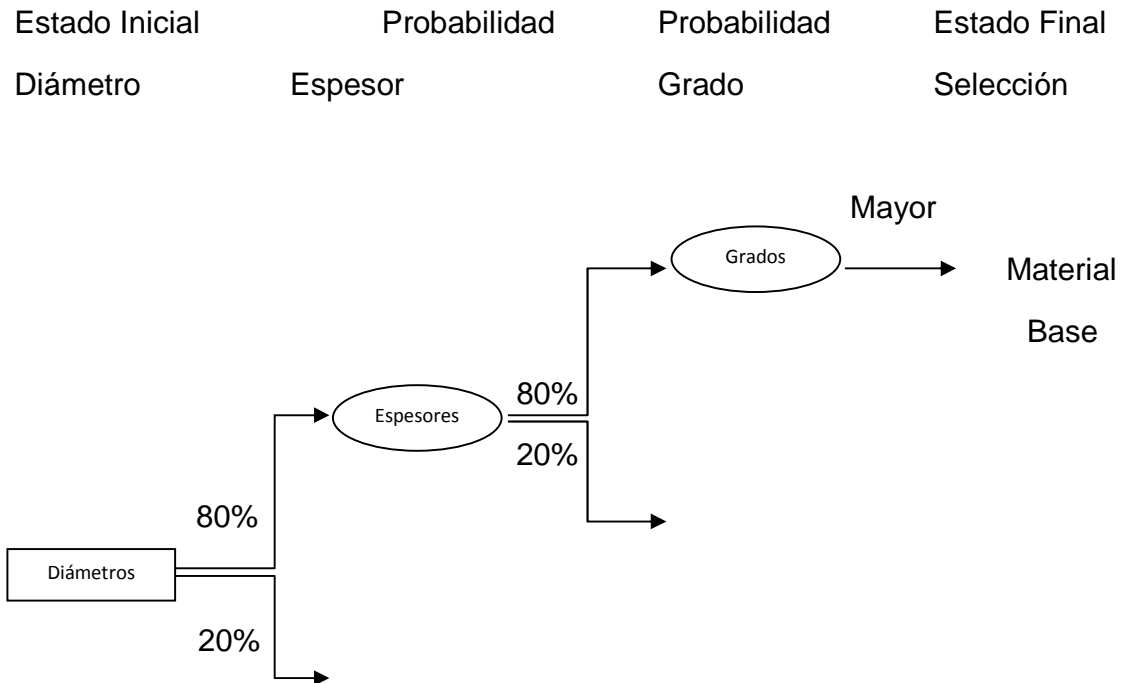
1.3.2 Criterio de selección. El criterio de selección del material base se realiza a partir de la variable longitud (m), en el cual se revisan todas las redes y tuberías que conforman el transporte de hidrocarburos, se escoge esta única variable en función de que es la más relevante para el presente trabajo a realizar, para establecer el costo real del mantenimiento en función de la longitud.

Para el análisis de la selección del material base, se realiza a partir del árbol de decisión, donde se pasa a través de unas probabilidades de estado para la selección del resultado final:

1. Selección del diámetro de acuerdo a la teoría de Pareto (80/20) aplicado como probabilidad.
2. Selección del Espesor de acuerdo a la teoría de Pareto (80/20) aplicado como probabilidad.
3. Selección del Grado basado en el criterio del Máximo

Nota: No se selecciona la variable Grado en primer lugar para no generar una exclusión de alguno de estos desde un comienzo.

Figura 5. Árbol de decisión para selección de material base.



Fuente El Autor.

De acuerdo con el árbol de decisión dentro de los noventa y un (91) tipos de tuberías existentes en el sistema de distribución de hidrocarburos, solo se seleccionan dieciocho (18) de ellos, los cuales nos permitirán realizar los respectivo análisis que se persiguen en el estudio, teniendo en cuenta que se adicionó dentro de esta selección una tubería grado X42 para no realizar ningún tipo de exclusión de grados dentro del presente proyecto. Para revisar la selección del material favor remitirse al Anexo 1.

1.4 SELECCION DEL MATERIAL DE APORTE

La selección del material de aporte para una determinada unión soldada se basa fundamentalmente en dos criterios: la igualación de la resistencia con el material base o igualación de resistencia y similitud de composición química. [28]

La igualación de resistencia es frecuentemente aplicada en la soldadura de aceros estructurales en general, mientras que la igualación por resistencia y composición química se aplica en aceros que contienen elementos característicos de aleación para conferir propiedades específicas relacionadas con el comportamiento en

servicio. Este es el caso de los aceros destinados a aplicaciones tales como: altas temperaturas, bajas temperaturas o régimen criogénico, resistencia a la corrosión (aceros inoxidables), etc. [29]

En algunos casos se puede presentar una variante a los criterios de selección mencionados en los párrafos de arriba, es la utilización de un material de aporte con una resistencia menor al material base. Dicha alternativa es definida cuando se busca que la soldadura actúe como fusible o cuando la resistencia de los materiales base excede el nivel de resistencia admisible y se define un material de aporte ajustado a la necesidad de resistencia estructural, privilegiando un buen nivel de ductilidad y tenacidad en el metal de soldadura. [30]

En el caso particular de la soldadura de aceros la soldabilidad puede ser definida, simplemente, como la mayor o menor facilidad que presentan los aceros para ser unidos mediante soldadura. De esta forma podemos decir que la soldabilidad de un acero depende en gran medida de su composición química, tanto por el contenido de carbono como de otros elementos de composición que actúan de manera análoga. Cuanto mayor sea el porcentaje en peso de carbono y otros elementos de composición mayor será la tendencia al aumento de templabilidad del acero y consecuentemente menor su soldabilidad. La templabilidad indica la tendencia a la formación de microestructuras de temple, martensita, cuya susceptibilidad a la fisuración bajo determinadas condiciones de soldadura es muy importante. La soldabilidad permite la obtención de soldaduras sanas, homogéneas, que respondan a las necesidades para las que fueron realizadas, incluyendo los requisitos de fabricación. [31]

De acuerdo con los procedimientos seleccionados y con la finalidad perseguida la reparación de líneas de tubería que transportan hidrocarburos, se seleccionarán los materiales de aporte reportados en los WPS (Anexo 2) realizados en la construcción de las líneas de transporte, dentro de la revisión de estos se verificó que se cumple con el criterio de igualar la resistencia en el material base, esto para el caso de presentarse reparaciones donde se debe reemplazar tramos de tubería los electrodos utilizados son los mencionados a continuación (E6010, 7010-A1, E8010-G).

Para la instalación de camisas se realizara de acuerdo a las recomendaciones de la norma API 1104 y siguiendo las especificaciones de los procedimientos WPS (Anexo3) realizados en las reparaciones, el electrodo seleccionado para el proceso SMAW corresponde al E7018, debido a su revestimiento (CaO_2) electrodos básicos los cuales son utilizados para disminuir el riesgo de fisuración

en frío y controlar las entradas de calor para prevenir rotura en las paredes de la tubería. [32]

Solo se tiene especificaciones de procedimientos de soldadura establecidos para el proceso SMAW; Dentro del desarrollo del presente trabajo se vincularán diferentes tipos de procesos de soldadura y materiales de aporte a los descritos a los procedimientos, esto con el fin de tener un mayor rango de combinaciones que influyan sobre los costos correspondientes, lo cual nos proporcionará nuevas posibilidades para la selección de procesos dentro de las reparaciones de las líneas de transporte de hidrocarburos. Estos nuevos materiales de aporte se seleccionarán a partir de electrodos semejantes al proceso SMAW en cuanto a su resistencia y composición química. A continuación se relacionaron los electrodos propuestos para los diferentes procesos de soldadura:

GMAW - GTAW: ER70S-6

FCAW: E71T1

GAS: ARGON 100%, CO₂ 100%, O₂ 100%, ARG +CO₂ (80 – 20)%, ARG +O₂ (92 – 8)%.

1.4.1 Rendimientos de materiales de aporte. Los rendimientos de los materiales de aporte se encuentra en función de dos variables que son diámetros de los electrodos y amperaje los cuales tienen injerencia directa sobre la velocidad de deposición, en los catálogos de los electrodos se tienen tablas y graficas experimentales de velocidad de deposición, estas se determinan realizando un cordón de soldadura sobre una placa previamente pesada y preparada, se registra el tiempo de arco para un electrodo a continuación se pesa la placa y se determina la cantidad de material depositado en un intervalo de tiempo, para contrastar y verificar los diferentes rendimientos de los materiales de aporte favor remitirse al Anexo 4.

2 DISEÑO PARA REPARACION DE TUBERIAS DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

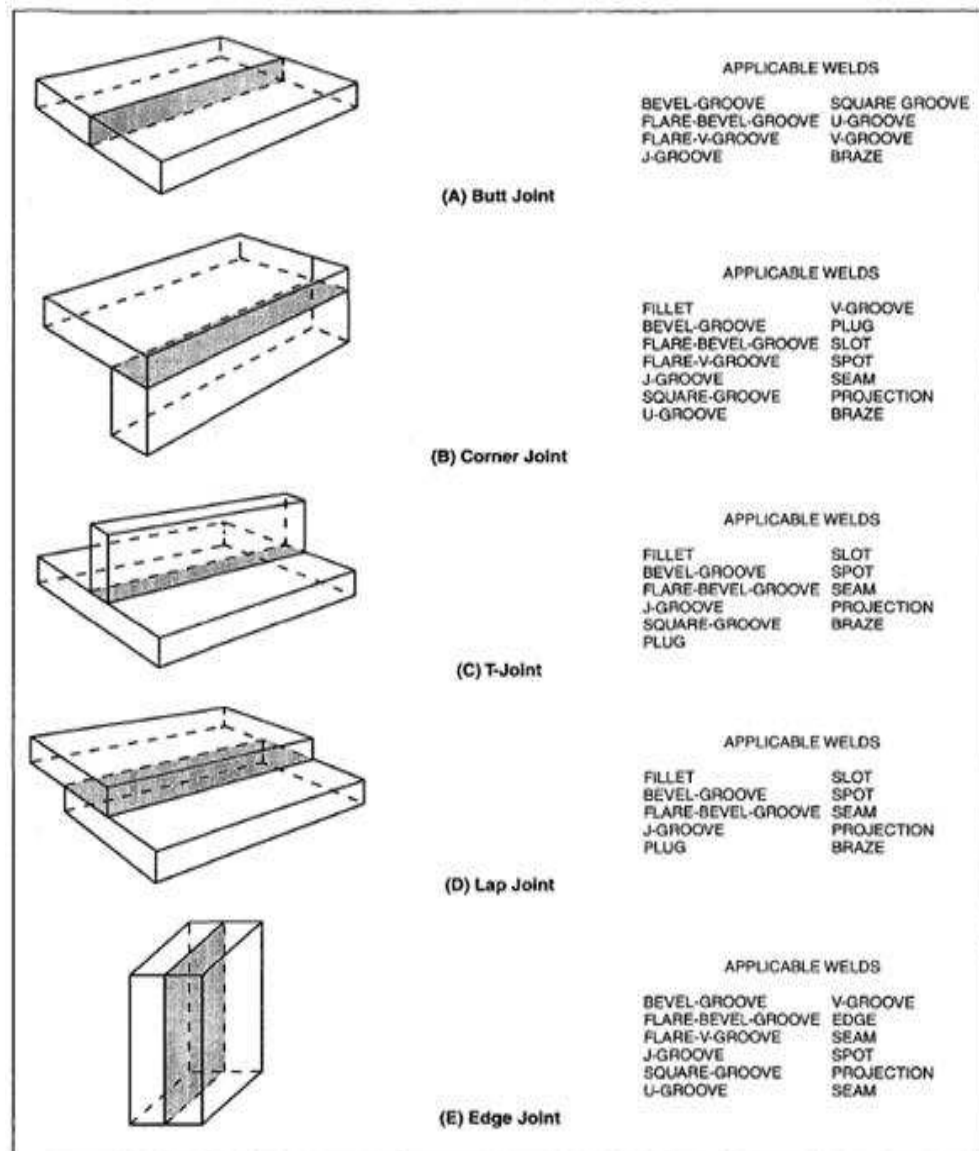
2.1 DISEÑOS DE JUNTA

2.1.1 Tipos de junta. Es la unión de los miembros, o de sus extremos, que van a ser unidos o que han sido unidos. El diseño de la junta identifica la forma, las dimensiones y la configuración de la junta. La forma de la junta influye sobre la resistencia de la unión soldada, grado de penetración, el tiempo de trabajo, las tensiones de soldadura y calidad de soldadura. [33]

Existen cinco (05) tipos básicos de juntas. Un número de diferentes tipos de soldadura puede ser aplicado a cada tipo de junta dependiendo del diseño de la junta, y estos son mostrados al lado de cada tipo de junta: [34]

- Junta a Tope (Butt Joint): Las piezas están dispuestas en un mismo plano, son empleadas para láminas y vigas continuas; una vez que son soldadas aceptan solicitaciones de cargas estáticas y dinámicas.
- Junta en “T” (T Joint): Una de las piezas se apoya perpendicularmente por su extremo en la otra formando por lo general un ángulo de 90°.
- Junta en Esquina (Corner Joint): Las piezas se enfrentan en los bordes de cada una formando un ángulo 90°.
- Junta de Traslape (Lap Joint): Las piezas se solapan o superponen por su cara más ancha.
- Junta de Borde u Orilla (Edge Joint): Las piezas se disponen de forma adyacente.









Figura 6. Tipos de Junta.



Fuente AWS design for welding. Página 27.

La figura presentada a continuación representa los espesores recomendados para cada tipo de junta, los cuales serán trabajados para los diseños del capítulo posterior.

Figura 7. Tipos de juntas y espesores de lámina recomendado.

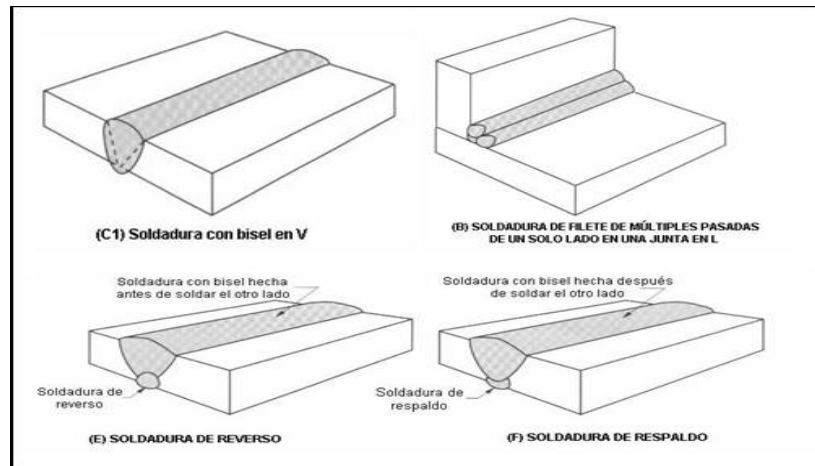
| JUNTA | ILUSTRACIÓN | SÍMBOLO | ESPESOR T (mm) |
|------------------------|--|---------|------------------|
| A tope en I |  | | $T < 4$ |
| A tope en bisel simple |  | ∨ | $4 < T < 12$ |
| A tope en V |  | ∨ | $4 < T < 20$ |
| A tope en doble V |  | X | $12 < T \leq 50$ |
| A tope en U |  | ∪ | $T > 30$ |
| A tope en doble U |  | ∪∪ | $T > 50$ |
| En ángulo simple |  | △ | |
| En ángulo doble |  | ▷ | |

Fuente Diseño para la fabricación y ensamble de productos. Página 213.

2.1.2 Tipos de soldadura. Según la forma, sección transversal del metal de soldadura y otras características, a continuación citaremos los tipos de soldadura de mayor utilidad en el presente trabajo: [35]

- Soldadura de Ranura (Groove): Es una soldadura hecha en un bisel entre las piezas, soldaduras con bisel de diferentes tipos son usadas en varias combinaciones, la selección está influenciada por la accesibilidad, economía, adaptación al diseño estructural, distorsión esperada y el tipo de proceso de soldadura usado. La selección de la abertura de la raíz y ángulos de bisel están influenciados por los materiales a unir, la localización de la junta en la estructura y las condiciones de servicio requeridas.
- Soldadura de Filete (Fillet): Una soldadura de sección transversal triangular uniendo dos superficies aproximadamente en ángulos rectos en una junta solapada, en T, esquina o de borde. Cuando el diseño lo permite, es preferida la soldadura de filete a la soldadura con bisel por razones económicas. Generalmente no se requiere preparaciones de borde para soldadura de filete.
- Soldadura de Reverso (Back Weld): Una soldadura hecha en la parte de posterior de una soldadura, esta es aplicada después de que el frente ha sido soldado.
- Soldadura de Respaldo (Backing Weld): Una soldadura o platina de respaldo, esta es depositada antes de soldar en la cara frontal.

Figura 8. Tipos de soldadura.



Fuente Tecnología de Inspección de Soldadura. Módulo 4. Páginas 18-19-20.

2.1.3 Partes de la junta. Las partes o elementos de las juntas a soldarse son relativamente numerosas, y a fin de poder interpretar y describir correctamente cualquier junta, es necesario identificar y ubicar cada una de sus partes. La figura 8 y 9 indican algunos de estos elementos en una junta sin soldar y soldada respectivamente. [36]

- 1- Abertura de la raíz
- 2- Cara de la raíz
- 3- Cara de la ranura
- 4- Angulo del bisel
- 5- Angulo de la ranura
- 6- Tamaño de la soldadura
- 7- Espesor de la plancha

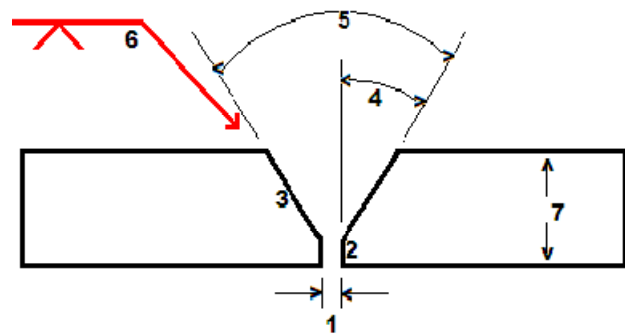


Figura 9. Partes de la junta sin soldar. Fuente Instituto chileno de soldadura. Página 23.

- Cara de la soldadura
- Refuerzo de la cara
- Pie de la soldadura
- Refuerzo de la raíz
- Superficie de la raíz

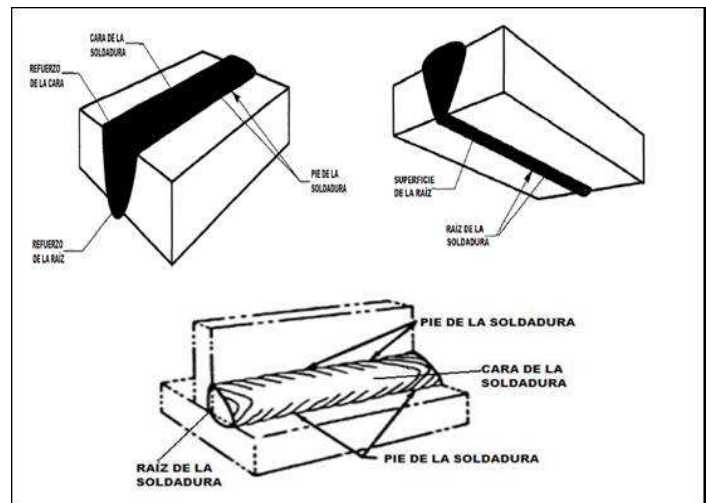
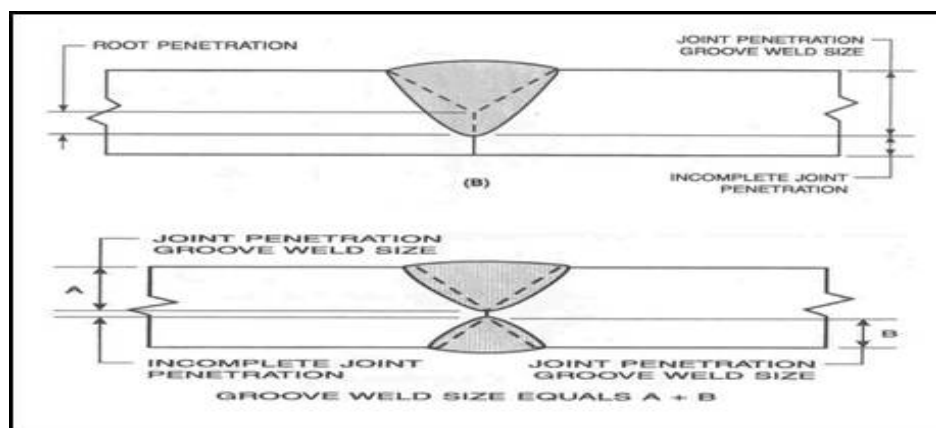


Figura 10. Partes de la junta soldada. Fuente Instituto chileno de soldadura. Página 24.

2.1.4 Tamaño de la soldadura [37]

2.1.4.1 Soldadura de ranura de penetración incompleta. Se define como la distancia desde la parte más lejana de la soldadura adentro de la junta a la superficie de soldadura, excluyendo cualquier sobre espesor de soldadura que pueda presentarse. Para configuraciones de soldaduras de ranura doble donde la penetración de la junta es parcial, el tamaño de la soldadura es igual a la suma de las penetraciones de la junta medidas desde ambos lados.

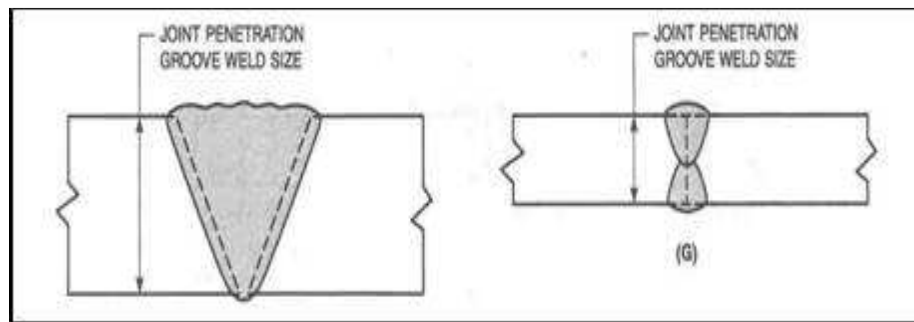
Figura 11. Soldadura de ranura penetración parcial.



Fuente Conceptos de los criterios de macroataque.

2.1.4.2 Soldadura de ranura de penetración completa. En una soldadura de ranura con penetración completa, el tamaño de la soldadura es igual al espesor de la parte más delgada de los dos miembros unidos, dado que se debe descontar el espesor del refuerzo de la soldadura que pueda estar presente.

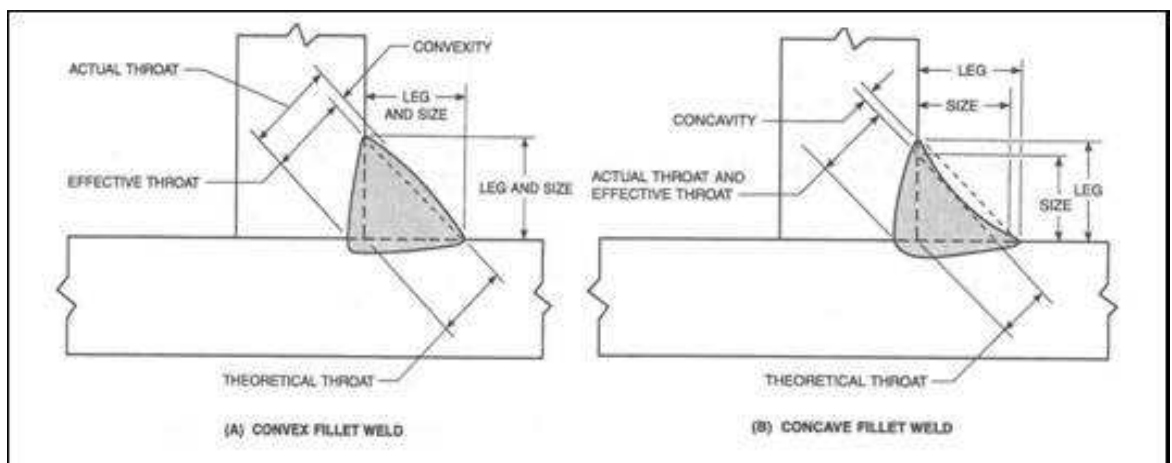
Figura 12. Soldadura de ranura penetración completa.



Fuente Conceptos de los criterios de macroataque.

2.1.4.3 Tamaño de soldadura de filete de lados iguales. En una soldadura de filete de lados iguales el tamaño de la soldadura se describe como la longitud del lado del mayor triángulo recto isósceles que puede ser inscrito dentro de la sección transversal de la soldadura de filete.

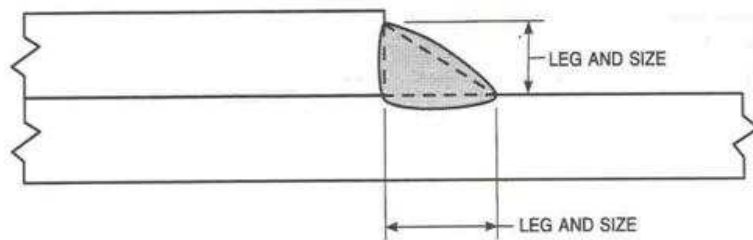
Figura 13. Soldadura de filete lados iguales.



Fuente Conceptos de los criterios de macroataque.

2.1.4.4 Tamaño de soldadura de filete de lados desiguales. En una soldadura de filete de lados desiguales el tamaño de la soldadura se define como la longitud de los lados del mayor triángulo recto que puede ser inscrito dentro de la sección transversal de la soldadura de filete.

Figura 14. Soldadura de filete lados iguales.



Fuente Conceptos de los criterios de macroataque.

2.2 TIPOS DE CARGA [38]

Un sistema de tuberías constituye una estructura especial irregular y ciertos esfuerzos pueden ser introducidos inicialmente durante la fase de construcción y montaje. También ocurren esfuerzos debido a circunstancias operacionales. A continuación se resumen las posibles cargas típicas que deben considerarse en el diseño de tuberías.

2.2.1 Presión

2.2.1.1 Presión interna. Los componentes en la tubería en cualquier punto del sistema de la tubería debe ser diseñado para una presión interna de diseño, la cual no debe ser menor a la máxima presión de operación en estado continuo en ese punto, o menor que la cabeza de presión estática en el punto con la línea en condiciones estáticas. La máxima presión de operación en estado continuo debe ser la suma de la cabeza de presión estática, mas la presión requerida para vencer las pérdidas por fricción y con las correspondientes contrapresiones. Debe tenerse en cuenta la presión externa hidrostática de la manera apropiada, modificando la presión de diseño interna que se usa en los cálculos de la presión de diseño de componentes de tuberías.

2.2.1.2 Presión externa. Los componentes de un sistema de transporte de hidrocarburos deben diseñarse para soportar la máxima presión diferencial posible entre la presión externa y la presión interna a la que el componente estará expuesto.

2.2.2 Temperatura. La temperatura de diseño es la temperatura que se espera soportara el metal en condiciones normales de operación. No es necesario variar los esfuerzos de diseño para temperaturas de metal entre -20°F (- 30°C) Y 250°F (120°C). Sin embargo algunos materiales que conforman las especificaciones aprobadas para usarse bajo este código pueden no tener propiedades apropiadas para la parte más baja del rango de temperatura cubierto en este código.

2.2.3 Ambiente. Efectos de la expansión de los fluidos deben prever en el diseño, bien sea para resistir ó para aliviar incrementos de presión causados por el calentamiento del fluido estático en los componentes de la tubería.

2.2.4 Cargas dinámicas. Cuando los metales son sometidos a esfuerzos de tensión o esfuerzos variables o que cambian de dirección cíclicamente pueden fallar por fatiga. Cuando existen condiciones de fatiga en un elemento de una estructura o equipo, se deben establecer las cargas cíclicas que serán aplicadas, el número de ciclos de cambio o variación de las cargas y la vida esperada. En los materiales solicitados dinámicamente la deformación de rotura se reduce en forma considerable. Asimismo, las experiencias realizadas demuestran incrementos del límite de fluencia y de la tensión de rotura. Dentro de estas se destacan las cargas tipo impacto, viento, movimiento sísmico, vibración, subsidencias, ondas y corrientes.

2.2.5 Cargas estáticas. Las cargas estáticas son aquellas varían su magnitud de cero a los valores definitivos tan lentamente, que las aceleraciones que en estas condiciones reciben los elementos de las estructuras son despreciablemente pequeñas. Dentro de estas se destacan las cargas tipo viva (peso del liquido transportado y otro material extraño que se adhiere a la tubería, impacto del viento, corrientes de agua deberán también considerarse), y de tipo muerto (peso de la tubería componentes, revestimientos, rellenos).

2.2.6 Expansion térmica y cargas de contracción. Deben preverse para afrontar los efectos de la expansión térmica y la contracción en los sistemas de tubería.

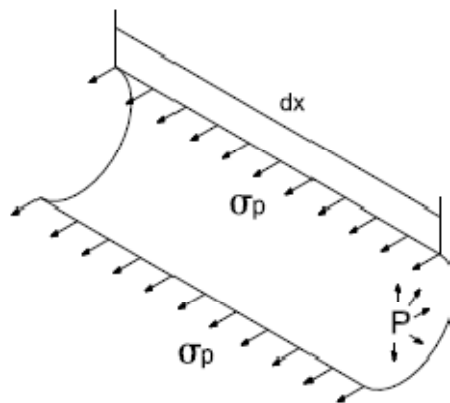
2.2.7 Movimientos relativos de los componentes conectados. El efecto de los movimientos relativos debe tenerse en cuenta en el diseño de las tuberías y los elementos de soporte.

2.3 TIPOS DE ESFUERZO

El cálculo de esfuerzos y tamaños de soldadura en uniones soldadas genera la solución necesaria y suficiente para especificar la construcción de los componentes soldados que se requieren; además para definir acertadamente los estados de carga estimados ó medidos y las condiciones ambientales y operativas donde los conjuntos soldados deben cumplir su servicio. [39]

2.3.1 Esfuerzos por presión (Hoop). La presión del fluido dentro de la tubería produce un esfuerzo tangencial o circunferencial σ_{cp} que ocasiona un aumento en el diámetro de la tubería, y un esfuerzo longitudinal σ_{lp} que produce un aumento en la longitud de la misma. Para determinar el esfuerzo tangencial σ_{cp} se pasa un plano longitudinal imaginario que divida a la tubería en dos partes iguales. [40]

Figura 15. Diagrama cuerpo libre de una tubería.



Fuente Guía para el diseño de tuberías. Página 12.

La fuerza resultante de los esfuerzos tangencial σ_{cp} debe estar en equilibrio con la resultante de la presión interna p sobre la mitad de la superficie de la tubería. La ecuación que describe el esfuerzo tangencial.

$$2 * (\sigma_{cp} * t * dx) = P * D * dx$$

$$\sigma_{cp} = \frac{P * D}{2 * t}$$

Donde

σ_{cp} Esfuerzo circunferencial debido a la presión

P Presión

D Diámetro externo de la tubería

t Espesor de la tubería

2.3.2 Esfuerzos por cargas sostenidas (Gravedad). Los esfuerzos por cargas sostenidas son aquellos esfuerzos longitudinales producidos por la presión, el peso de la tubería, su contenido, el aislante y otras cargas de gravedad tales como el peso de las válvulas, bridas, filtros, peso del terreno etc. [41]

$$\sigma_l = \sigma_{lp} + \sigma_{lg}$$

Donde

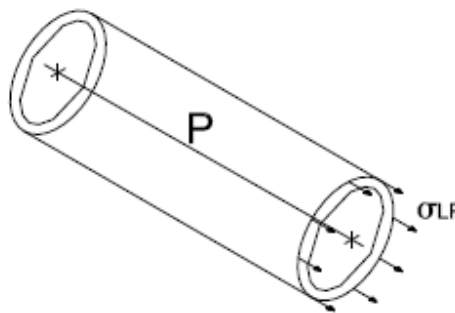
σ_{lp} Esfuerzo longitudinal debido a la presión

σ_{lg} Esfuerzo longitudinal debido a las cargas de gravedad.

σ_l Esfuerzo longitudinal

Para evaluar σ_{lp} se pasa un plano imaginario transversal y se hace un diagrama de cuerpo libre, como se muestra en la figura.

Figura 16. Esfuerzo por cargas sostenidas (Longitudinales).



Fuente Guía para el diseño de tuberías. Página 12.

Escribiendo la ecuación de equilibrio de fuerzas en la dirección longitudinal se tiene:

$$P * \frac{\pi * D^2}{4} = \sigma_{lp} * \pi * D * t$$

$$\sigma_{lp} = \frac{P * D}{4 * t}$$

Donde

σ_{lp} Esfuerzo longitudinal debido a la presión

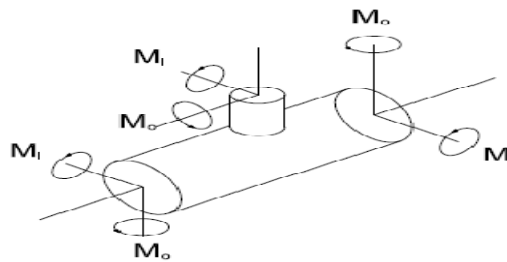
P Presión

D Diámetro externo de la tubería

t Espesor de la tubería

El peso de la tubería y de otras cargas concentradas genera en cada sección transversal de la tubería momentos flectores M_i y M_o .

Figura 17. Esfuerzo por cargas sostenidas (Momentos).



Fuente Guía para el diseño de tuberías; página 15.

En general, cuando una viga está sometida a flexión pura por un momento flector M , los esfuerzos se distribuyen de acuerdo con la ecuación:

$$\sigma = \frac{M * C}{I}$$

El esfuerzo máximo ocurre en el punto más alejado del eje centroidal, esto es, en $C = D/2$.

$$\sigma_{lg} = \frac{M * D}{2 * I}$$

Donde

| | |
|---------------|--|
| σ_{lg} | Esfuerzo longitudinal debido a la gravedad |
| M | Momento flector |
| D | Diámetro externo de la tubería |
| I | Momento de Inercia |

2.3.3 Esfuerzos por carga de expansión. Cuando la temperatura del sistema se eleva desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de operación, la tubería se expande. Debido a que no puede hacerlo libremente por las restricciones impuestas por los equipos y soportes, se dobla y se tuerce (figura 5), generándose momentos flectores M_i y M_o , así como un momento torsor M_t en cada sección transversal de la tubería. [42]

Los momentos flectores M_i y M_o , producen un esfuerzo máximo longitudinal

$$\sigma_{lg} = \frac{M * D}{2 * I}$$

Donde

| | |
|---------------|--|
| σ_{lg} | Esfuerzo longitudinal debido a la gravedad |
| M | Momento flector |
| D | Diámetro externo de la tubería |
| I | Momento de Inercia |

Mientras que el momento torsor genera un esfuerzo máximo de corte

$$\tau = \frac{M_t * D}{2 * \frac{I}{D/2}}$$

Donde

| | |
|--------|--------------------------------|
| τ | Esfuerzo cortante |
| M_t | Momento torsor |
| D | Diámetro externo de la tubería |
| I | Momento de Inercia |

2.3.4 Flexibilidad [43] [44]. El análisis de flexibilidad de tuberías consiste en determinar si una línea posee la suficiente capacidad para absorber las cargas que inciden sobre ella tales como el propio peso de la tubería, la expansión térmica, las fuerzas producidas por la presión del fluido, vibraciones, terremotos y otras.

Una estructura que esté sujeta a un cambio de temperatura cambiará sus dimensiones físicas si está libre de expandirse. En caso contrario, se inducirán esfuerzos provocándose fuerzas de reacción y momentos en los equipos de los extremos. El problema básico del análisis de flexibilidad es determinar la magnitud de estos esfuerzos en la tubería y controlar que las reacciones en los puntos de interconexión con equipos estén dentro de valores aceptables.

La tubería debe ser diseñada para que tenga suficiente flexibilidad y prevenir que la expansión ó contracción causen esfuerzos excesivos en el material de la tubería, movimientos excesivos de pandeo en las uniones, fuerzas excesivas, momentos en puntos de conexión a equipos, en los puntos de anclajes ó guías. Fuerzas permisibles y momentos en los equipos deben ser menores que en las tuberías a las cuales van conectados.

La expansión de las tuberías por encima del terreno puede prevenirse anclándolas de modo que la expansión longitudinal, la contracción, debida a cambios térmicos ó de presión sea absorbida por la compresión axial directa ó tensión en la tubería en la misma forma como se hace con las tuberías enterradas. Adicionalmente, sin embargo, deben tenerse en cuenta los esfuerzos de pandeo de vigas que deben incluirse y tenerse en cuenta la posible inestabilidad elástica de la tubería y sus apoyos, debido a fuerzas compresivas longitudinales.

Líneas Restringidas: Los esfuerzos netos longitudinales debidos a la compresión ó los efectos combinados de aumento de temperatura y presión del fluido deben calcularse según la ecuación:

$$\sigma_l = E * \alpha(T_2 - T_1) - \nu * \sigma_{cp}$$

Donde

| | |
|---------------|--|
| σ_l | Esfuerzo longitudinal debido a la compresión |
| σ_{cp} | Esfuerzo circular debido a la presión del fluido |
| T_1 | Temperatura en el momento de la instalación |
| T_2 | La máxima ó mínima temperatura de operación |
| E | Módulo de elasticidad del acero |
| α | Coefficiente de expansión térmica lineal |
| ν | Relación de Poisson |

2.3.5 Esfuerzos permisibles [45]. El valor del esfuerzo permisible "S" para calculo de diseño para tubería nueva de especificaciones conocidas. Debe establecerse como sigue:

$$S = 0.72 * FE * SMYS$$

Donde

0,72 Factor de diseño basado en el espesor nominal de la pared. Al fijar este factor de diseño, se cuenta con la debida consideración y se ha incorporado el factor permisible para la tolerancia de la reducción de espesor así como la mayor profundidad permisible de las imperfecciones según lo provisto por las especificaciones aprobadas en este código.

FE Factor de soldadura de la unión

SMYS Resistencia cedente mínima especifica de la tubería, *Ipc* (MPa)

El valor del esfuerzo permisible para tubería usada de especiaciones conocidas puede utilizar la misma expresión, siempre y cuando se realice inspección visual, determinación de espesores de pared y prueba hidrostática a esta tubería.

Los valores de los esfuerzos permisibles al corte no deben exceder el 45% de la resistencia cedente mínima especificada de la tubería, y los valores de los esfuerzos permisibles en soporte no deben exceder el 90% de la resistencia cedente mínima especificada de la tubería.

Los valores de esfuerzos calculados debido a la presión interna no deben exceder los esfuerzos permisibles aplicables "S".

Los esfuerzos de presión externa deben ser considerados seguros cuando el espesor de pared de los componentes de la tubería cumpla los requisitos del código.

Los valores de esfuerzos permisibles para los esfuerzos por expansión térmica para líneas restringidas no deben exceder el 90% de la resistencia cedente mínima especificada de la tubería. Para líneas que no están restringidas no deben exceder el 72% de la resistencia cedente mínima especificada de la tubería.

La suma de los esfuerzos longitudinales debidos a la presión, peso y otras cargas externas sostenidas, no deben exceder el 75 % del valor del esfuerzo permisible especificado para el cálculo de la flexibilidad.

La suma de los esfuerzos circunferencial, longitudinal y radial de las cargas de diseño a presión interna y externa en tuberías instaladas bajo ferrocarriles ó carreteras como están combinados en el API RP 1102 no deben exceder 90% resistencia cedente mínima especificada. Las cargas deben incluir el peso de la tierra, la carga cíclica de los rieles y los esfuerzos térmicos.

La suma de los esfuerzos longitudinales producidos por presión, cargas vivas y muertas y los producidos por cargas ocasionales tales como el viento, los temblores de tierra no deben exceder el 80 % de la resistencia cedente mínima especificada de la tubería. No es necesario considerar al viento y los terremotos como si ocurriesen en forma simultánea.

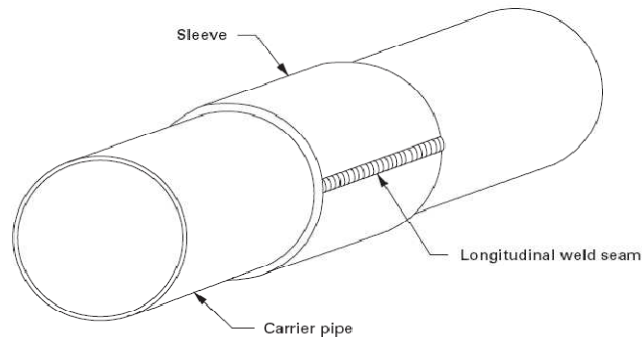
Los esfuerzos debido a condiciones de prueba no están sometidos a las limitaciones del esfuerzo permisible "S". No es necesario considerar otras cargas ocasionales como los vientos y temblores de tierra como si ocurriesen en forma simultánea con las cargas vivas y muertas de las cargas de pruebas que existan en el tiempo de la prueba.

2.4 DISEÑO DE CAMISAS [46]

Camisa envolvente circunferencial completa consiste en un elemento cilíndrico ubicado alrededor de la sección de la tubería a ser reparada, soldada a lo largo de dos costuras longitudinales, tal como se ilustra en las figuras. 1 Y 2. Existen dos tipos de camisas, en lo sucesivo denominadas Tipo A y Tipo B. Las camisas pueden efectuarse a partir de la misma tubería ó de material de lámina rolada.

2.4.1 Camisas tipo A. Los extremos de la camisa no deben ser soldados circularmente alrededor de la tubería de transporte, como se muestra en la Figura. La camisa tipo A no es capaz de contener presión interna sino que funciona como un refuerzo para áreas defectuosas. Sólo se utiliza para la reparación de los defectos que no sufren pérdidas y que no se espera que crezca durante el servicio, o cuando el daño mecanismo y la tasa de crecimiento sean entendidas en su totalidad. Provee un refuerzo mecánico.

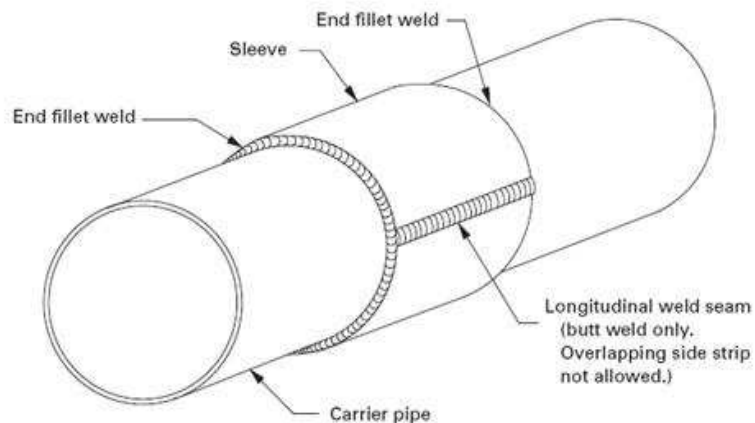
Figura 18. Camisa tipo A.



Fuente ASME PCC 2 Reparación de equipos de presión y tubería. Página 25.

2.4.2 Camisa tipo B. La camisa Tipo B están soldadas circularmente alrededor de la tubería de transporte, como se muestra en la Figura. La camisa Tipo B es capaz de contener presión interna porque los extremos son soldaduras de filete sobre la tubería de transporte. La camisa Tipo B puede utilizarse para reparar defectos de fugas ó defectos que eventualmente puede ser fugas y fortalecer los defectos en la tubería que reduzcan la capacidad de carga axial de la tubería.

Figura 19. Camisa tipo B.



Fuente ASME PCC 2 Reparación de equipos de presión y tubería. Página 26.

2.4.3 Requisitos para construcción de camisas

2.4.3.1 Operación de ciclo. Si la camisa de reparación se aplica a un sistema sometido a frecuentes ciclos de presión, presiones mayores de 400 ciclos, donde el cambio en la presión durante un ciclo supera el 20% de la presión de diseño, un análisis detallado de los componentes a fatiga debe considerarse la instalación de la camisa en la tubería. Cuando una camisa tipo B está sujeta a un cíclico a través de la pared de gradientes térmicos, cuando la diferencia de temperatura entre la tubería y la camisa es menor de 100 °F y el número de ciclos es menor de 200, entonces un análisis de fatiga no se requiere, de lo contrario se requiera una detallada evaluación de los componentes a fatiga de la camisa en la soldadura a fin de establecer la vida útil de la reparación.

2.4.3.2 Corrosión. Para Camisas tipo A se tomarán las medidas necesarias para prevenir la corrosión debido a la migración de humedad a través de los extremos sin soldar en el espacio entre la tubería y la camisa. Dichas medidas podrán incluir el uso de un sellador o capa adecuada para el entorno operativo.

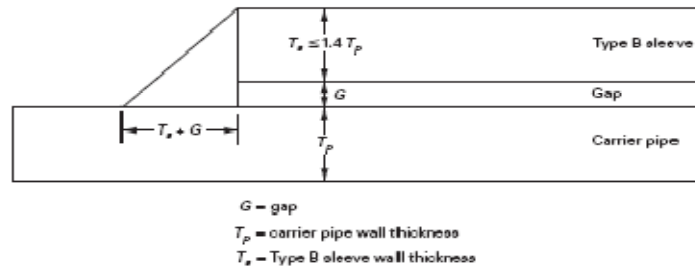
2.4.3.3 Diseño de presión. La presión de los cálculos de diseño aplicable en el código de construcción se aplicará para el cálculo del espesor necesario de la camisa. Los materiales y esfuerzos de diseño para las camisas deben cumplir los requisitos establecidos en el código de construcción.

2.4.3.4 Dimensión de las camisas. Las zonas que no cumplen con la aptitud para el servicio (FFS). El criterio debe ser totalmente cubierto por la reparación de la camisa. Las camisas tipo A y B serán de al menos 100 mm (4 pulg) de largo y se extienden más allá del defecto por al menos 50 mm (2 pulg).

2.4.3.5 Soldadura de filete. En las soldaduras de filete el tamaño de pierna en los extremos circunferenciales será como sigue:

- Una soldadura de filete completa si el espesor de la camisa es menor o igual a 1,4 veces el espesor nominal de pared de la tubería de transporte.

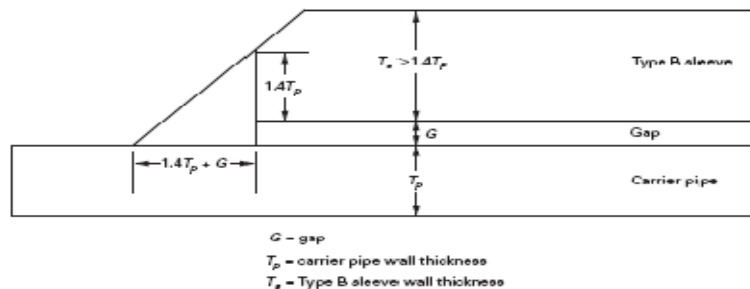
Figura 20. Soldadura de filete para camisa tipo B con espesores iguales o inferiores 1,4 espesor de la tubería.



Fuente ASME PCC 2 Reparación de equipos de presión y tubería. Página 27.

- Si una camisa tipo B es 1,4 veces más gruesa que el espesor nominal de pared de la tubería de transporte, los extremos circunferenciales de la camisa tipo B deben estar biselados a unos 45 grados hasta 1,4 veces el espesor nominal de pared de la tubería de transporte más el espacio de la abertura.

Figura 21. Soldadura de filete para camisa tipo B con espesores superiores de 1,4 el espesor de la tubería.



Fuente ASME PCC 2 Reparación de equipos de presión y tubería. Página 28.

El pie de la soldadura en las tuberías de transporte deberá tener una transición suave desde la tubería de transporte a la soldadura con el fin de reducir al mínimo el nivel de intensificación de esfuerzos. El ángulo entre el talón de la soldadura y la tubería de transporte no debe generar una entalla fuerte y defectos como socavados los cuales no son permitidos.

2.4.3.6 Instalación. Para la instalación de camisas tipo A o B, el perímetro de la tubería en la zona a ser reparada por la camisa debe ser limpiada hasta metal sano. Si la dureza del material de relleno es para ser utilizada, el relleno se aplicará a todos muescas, picaduras, vacíos y depresiones. La camisa deberá estar ajustada alrededor de la tubería de transporte. La sujeción mecánica por

medio de equipos hidráulicos, de pernos, u otros dispositivos pueden utilizarse para garantizar la instalación. Una abertura generalmente no debe ser alcanzada, sin embargo una abertura radial de hasta 2,5 mm (3 /32 pulg.) máximo puede ser permitido.

2.4.3.7 Defectos de fuga. Para defectos de fuga, el área del defecto estará aislada antes de soldar. Para las líneas con contenido inflamable, deberán ser purgadas con nitrógeno u otro gas inerte para evitar la formación de una mezcla combustible bajo la camisa.

2.4.3.8 Reducción de presión. Reducir la presión de las tuberías de transporte en funcionamiento y mantenimiento, mientras que la reparación se realiza es recomendable. Las tuberías también pueden ser puestas fuera de servicio para efectuar la reparación; sin embargo los quemones deben ser considerados. La presión recomendada durante la instalación de la camisa en la tubería es entre 50% y el 80% de presión de funcionamiento.

2.4.3.9 Soldadura en servicio. Como mínimo, la calificación de los procesos de soldadura deberá tener en cuenta:

- El potencial de fisuración inducida por hidrógeno en la zona afectada por el calor como consecuencia del acelerado ritmo de enfriamiento y del hidrogeno en el ambiente de la soldadura
- El riesgo de que se forme una dureza inaceptable en la zona afectada por el calor debido a las propiedades químicas de los materiales de la camisa y tubería
- Posibilidad de quemones sobre la tubería.

2.5 TIPOS DE REPARACION PARA TUBERIA DE TRANSPORTE DE HIDROCARBURO SEGÚN NORMA ASME B31.4 [47]

Los defectos pueden ser eliminados o reparados por uno o más de los métodos descritos a continuación sujetos a las limitaciones indicadas para cada tipo de defecto y método de reparación. Pueden utilizarse otros métodos siempre que sean apoyados por principios de ingeniería sólidos y cumplir los requisitos del presente código.

2.5.1 Remoción. La sección de la tubería que contiene el defecto debe ser retirada y sustituida. La sustitución de tuberías siempre que sea posible deben tener una longitud de no menos de la mitad del diámetro o no inferior a 3 pulgadas (76,2 mm), lo que sea mayor. La línea de tubería debe ser descubierta o de lo contrario tener flexibilidad moderada, una distancia suficiente para permitir una razonable realineamiento libre de esfuerzos.

2.5.2 Esmerilar. Los defectos pueden ser eliminados por amolado dentro de las limitaciones indicadas a continuación. Antes de esmerilar, los límites del esmerilado son impuestos por la presión de funcionamiento, el espesor de la pared restante, así como la proximidad de defectos deben ser considerados. La superficie debe tener una transición fluida (mínimo 4 a 1 pendiente) entre este y los alrededores de la tubería. Imperfecciones de soldaduras como quemaduras de arco, rayaduras, rasgaduras y grietas pueden ser removidos mediante esmerilado previo a cualquier otra reparación. Abolladuras con esfuerzos tempranos pueden ser removidas por esmerilado antes de la instalación de cualquier reparación. El esmerilado de los defectos incluye:

- Confirmación de eliminación completa del defecto mediante inspección visual y partículas magnéticas o líquidos penetrantes de inspección.
- La medición longitudinal del tramo y espesor de la pared restante de la superficie amolada por procedimientos mecánicos o equipos de medición ultrasónica para garantizar el cumplimiento de una adecuada aptitud para el propósito del estándar.
- Esmerilar quemaduras de arco debe ser lavado con solución para confirmar la eliminación de todas las alteraciones metalúrgicas del material.

2.5.3 Deposición de metal de soldadura. Defectos en las soldaduras producidos con metal de aporte, pequeñas áreas de corrosión, rasgado, rayado y quemaduras de arco pueden ser reparados por depósitos de metal de soldadura siempre que no estén situados dentro de los límites de una región de abolladura de la tubería. Los procesos de soldadura deberán estar en conformidad con la especificación de tubería para el grado y tipo de tubería a reparar. Imperfecciones de soldadura, quemaduras de arco, rasgado y rayados serán eliminadas por esmerilado antes de depositar el metal de aporte de soldadura. La prueba de calificación para los procedimientos de soldadura que se usa en tuberías que contengan un líquido deberá incluir los efectos de enfriamiento del tubo contenidos sobre la dureza y las propiedades mecánicas de los cordones de soldadura. Procedimientos de soldadura de tubería que no contenga un líquido deberá ser calificado.

2.5.4 Camisas circulares. Las reparaciones pueden ser realizadas por la instalación de un círculo completo soldado (camisa). Las configuraciones de camisas pueden ser las siguientes:

- Camisas que no contengan presión configuración (Tipo A). Camisa instalada para la reparación solo de refuerzo y no para contener presiones internas, soldaduras circunferenciales en los extremos no están permitidas. Cuando una camisa tipo A es utilizada, deberán tomarse medidas para evitar la migración de agua hacia el espacio entre el tubo y la camisa. Continuidad eléctrica será establecida entre el tubo y la camisa con el fin de proporcionar protección catódica. Las camisas tipo A no deben ser utilizadas para reparar defectos de filtración o para defectos orientados circunferencialmente. Una camisa tipo A puede ser instalada de manera que se reduzcan los esfuerzos circunferenciales en la tubería de transporte. Métodos para lograr este objetivo incluyen disminución de la presión antes de que la camisa sea instalada, aplicando fuerza mecánica externa o precalentamiento la camisa para facilitar una contracción.
- Camisas que contengan presión configuración (tipo B). Las camisas tipo B tendrán una presión de diseño no inferior a la de la tubería que está siendo reparada. Las costuras longitudinales de la camisa debe ser soldadura a tope completa penetración. Los extremos de la camisa serán en soldadura de filete sobre la tubería de transporte utilizando procedimiento de soldadura de bajo hidrógeno. La camisas tipo B puede ser utilizada para defectos con o sin filtraciones, defectos orientados circunferencialmente. Cuando múltiples camisas son utilizadas, una camisa tipo B no debe ser terminada en la mitad del diámetro de la tubería ó 4 pulgadas de una soldadura circunferencial cualquiera que sea mayor. La distancia entre camisas debe ser de al menos un diámetro de la tubería. Cuando se instala en un defecto de no filtración, una camisa tipo B puede ser instalado de manera que se reduzcan los esfuerzos circunferenciales en la tubería de transporte. Métodos para lograr este objetivo se incluyen disminución de la presión antes de que la camisa sea instalada, aplicando fuerza mecánica externa o precalentamiento de la camisa para facilitar una contracción.

2.5.5 Camisas compuestas. Las áreas de corrosión sin fuga y algunos otros tipos de defectos pueden repararse por la instalación de camisas compuestas siempre que diseño y métodos de instalación son probados para el servicio previsto antes de la aplicación. Una camisa compuesta debe haber sido sometida a pruebas para determinar si es compatible con protección catódica y el producto en la tubería de transporte. La camisa compuesta también debe conservar sus propiedades esenciales en un ambiente húmedo con temperaturas dentro del rango de temperatura operativa de la tubería. La capacidad de carga de la tubería restante y la camisa compuesta será como mínimo igual a la capacidad de carga nominal de la tubería. Camisas compuestas debe ser marcada y/o documentado en cuanto a

ubicación, de modo que sea evidente que la reparación se ha realizado en la ubicación específica. Camisas compuestas no se utilizarán para reparar fugas, pérdida de metal con una profundidad mayor que el 80% del valor nominal espesor de la pared, grietas o defectos orientados circularmente. Camisas compuestas pueden ser utilizadas para reparar defectos que han sido eliminados por esmerilado.

2.5.6 Abrazaderas mecánicas. Las reparaciones pueden ser realizadas con defectos con o sin fugas por la instalación de una aplicación mecánica de grapa. Una abrazadera mecánica tendrá una presión de diseño no inferior a la de la tubería que está siendo reparada. Abrazaderas mecánicas no se utilizarán para reparar defectos orientados circularmente a menos que estén diseñadas para soportar la carga axial. Una abrazadera mecánica puede estar completamente soldada, tanto circularmente, longitudinalmente y soldadura de sello en los pernos. Las abrazaderas deberán extenderse más allá de los bordes del defecto un mínimo de 2pulg. (50 mm).

2.5.7 Derivación en caliente. Defectos se pueden eliminar mediante derivaciones en caliente. Cuando la derivación en caliente se utiliza como medio de reparación, la parte de las tuberías que contengan el defecto será eliminada en su totalidad. Accesorios de derivaciones en caliente deberán ser más grandes de 2pulg. (50 mm) deben tener parte de material suficiente para satisfacer las necesidades de reposición, pueden no tener suficiente resistencia a las fuerzas y momentos externos si es utilizado sin refuerzos circulares totales.

2.5.8 Accesorios. Fugas de menor importancia que resulten de corrosión externa y pequeñas áreas corroídas externamente puede ser reparada por la instalación de un accesorio soldado. Accesorios soldados utilizados para cubrir defectos de oleoductos no excederá NPS 3 y tendrá una presión de diseño no menor a la tubería que está siendo reparada. Tubería que contienen quemaduras de arco, acanaladuras y socavados se pueden reparar con un accesorio soldado si la quemadura de arco o esfuerzos tempranos asociado con socavados o acanaladuras son eliminados mediante esmerilado. Las grietas no deberán ser reparadas por este método.

2.5.9 Parches y mitades. Ningún tipo de parche o mitad solar serán instalados en los oleoductos.

2.6 METODOLOGIA PARA REPARACION DE LINEAS DE ACUERDO API 1104 [48]

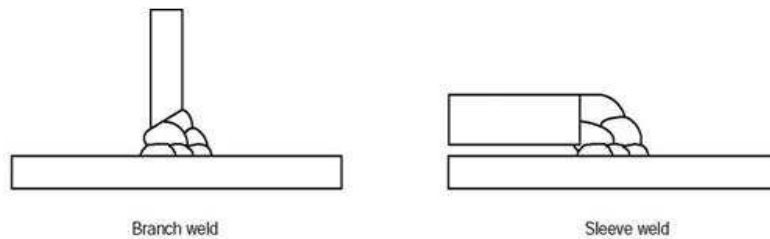
Los aspectos a considerar para la reparación en servicio de tuberías de transporte de hidrocarburos líquidos por soldadura se resumen en el Anexo 5, suministrado por ASME B31.4 el cual contiene los límites permisibles para los diferentes defectos y los tipos de reparación permitidos.

Existen dos preocupaciones primarias para la reparación en servicio de tuberías de transporte de hidrocarburos líquidos en servicio. La primera preocupación es evitar "quemaduras pasantes," donde la soldadura de arco causa a las paredes de las tuberías aberturas. La segunda preocupación es por fisura por hidrógeno, luego de que las soldaduras en servicio se enfrían a una acelerada velocidad como el resultado de la habilidad del volumen fluido de eliminar el calor de las paredes de la tubería.

Existe una baja probabilidad de ocurrencia de quemaduras pasantes si el espesor de pared es 0.250 pulgadas (6.4 mm) o mayor, desde que el electrodo empleado sea del tipo bajo hidrógeno, de igual forma soldadura en paredes delgadas en ductos en servicio son posibles, sin embargo se debe tener precauciones especiales, tal como se especifica en el uso de un procedimiento que limite la entrada de calor.

Para el suceso de fisuras por hidrogeno se deben satisfacer tres condiciones simultáneamente. Estas condiciones son: presencia de hidrogeno en la soldadura, microestructura susceptible a grietas o fisuras y esfuerzos residuales de tensión en la soldadura. Por lo menos una de las tres condiciones necesarias para el suceso debe eliminarse para prevenir fisuras por hidrogeno. Razón por lo cual se recomienda la utilización de electrodos tipo bajo hidrogeno o un proceso de bajo hidrogeno, los cuales permiten reducir el riesgo de fisuración. El control en los niveles de entrada de calor, así como el uso de tratamientos de precalentamiento o la secuencia en la deposición del cordón (pasada temple) pueden reducir también el riesgo de fisura por hidrogeno.

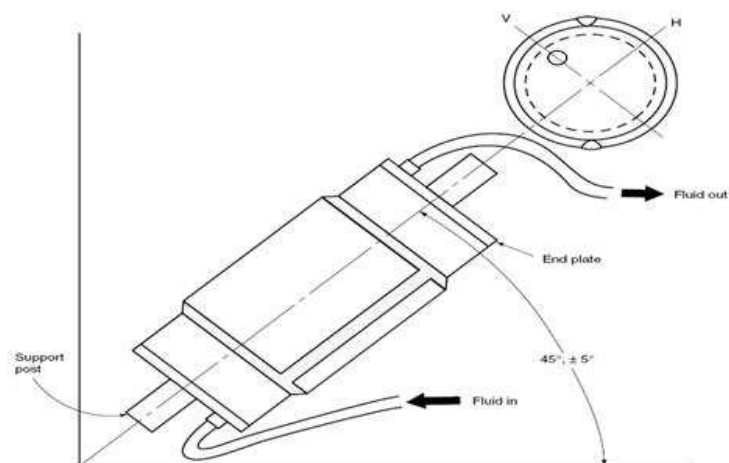
Figura 22. Pasada temple.



Fuente API 1104 (2005) Anexo B. Página 60.

Para la calificación del procedimiento se simula el llenado de la sección de ensayo con agua y el permitir que el agua fluya a través de la sección de ensayo, mientras la unión de ensayo esté siendo fabricada, se ha demostrado que produce condiciones térmicas equivalentes o más severas que cualquier aplicación típica de soldadura en servicio. Procedimientos calificados bajo estas condiciones han sido en consecuencia satisfactorios para cualquier aplicación típica en servicio. Otros medios por ejemplo motor oil pueden ser utilizados para simular condiciones térmicas menos severas.

Figura 23. Ensamble para calificación de procedimiento.



Fuente API 1104 (2005) Anexo B. Página 63.

Algunas prácticas recomendadas para la ejecución del procedimiento de soldadura incluyen:

- **Ensamble:** Para soldaduras de camisa y derivaciones, la abertura entre la camisa o la derivación y la tubería, no deben ser excesivas. Los mecanismos de sujeción, podrán ser empleados para obtener un propio ensamble. Cuando sea necesario, el metal de soldadura ensamblado en la tubería de transporte, puede ser utilizado para minimizar la abertura.
- **Apertura de raíz – Costura longitudinal:** Para soldaduras a tope longitudinales de camisa, cuando el 100% de la penetración es requerida, la abertura de la raíz podrá ser suficiente. Estas uniones deben ser ajustadas con acero de respaldo (backing) ó una cinta apropiada, a fin de prevenir la penetración de la soldadura en la tubería de transporte. La penetración de una soldadura a tope longitudinal dentro de la tubería de transporte será indeseable luego de que cualquier fisura pueda desarrollar una exposición sobre los esfuerzos circunferencial.
- **Secuencias de soldadura:** Secuencias de soldadura en camisas y derivaciones para accesorios que requieran soldadura de filete circunferencial, las costuras longitudinales deben iniciar primero antes de comenzar las circunferenciales, la soldadura de filete en los extremo debe ser terminada en uno de ellos para permitir comenzar el otro.

3 ESTIMACION DE COSTOS DE PRODUCCION DE SOLDADURA PARA REPARACION DE TUBERIAS DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

3.1 VELOCIDAD DE DEPOSICION

Es la cantidad de metal de aporte que puede ser depositado por un electrodo o un alambre por unidad de tiempo, generalmente expresado en kilogramos por hora. Esta velocidad, se calcula con base en el tiempo de arco, es decir, sin incluir paros para cambio de electrodo, limpieza de escoria, finalización de la soldadura u otras actividades. La velocidad de deposición depende fundamentalmente de la intensidad de corriente utilizada, la cual, en la mayoría de los procesos, está directamente relacionada con el diámetro del electrodo o alambre utilizado. Así como también está altamente influenciado por la velocidad de avance, tipo de gas protector y stick out. [49], [50]

Como se analizo en el capítulo 1 en el párrafo 1.4 rendimiento de los materiales de aporte se adjuntaron las tablas de deposición para cada proceso, donde se observa además la importancia del gas de protección utilizado y el stick out.

3.2 EFICIENCIA DE DEPOSICION [51]

Este se mide en %, y es la relación entre la cantidad de material depositado, expresado en Kg, y el peso del consumible en Kg, incluyendo los descartes propios del proceso, (colillas de electrodos, extremos de alambre no utilizado etc.).

En el proceso de arco manual ó SMAW, este entendimiento puede oscilar entre 50 y 70%, y dependerá del electrodo utilizado, ya que según el tipo de revestimiento, este variará oscilando entre los valores citados.

En el proceso TIG el descarte es mínimo, tendiendo al 95% de eficiencia de deposición, pudiendo acercarse este al 100 %, mediante técnicas como la de soldar el descarte a la próxima varilla de aporte.

En el proceso semiautomático GMAW, el descarte está principalmente determinado por las salpicaduras y restos de alambre que quedan al finalizar el rol o, por lo tanto la eficiencia será entre 90 a 97%.

En el proceso semiautomático FCAW, el descarte está principalmente en la escoria y restos de alambre que quedan al finalizar el rol por lo tanto la eficiencia será entre 80 a 90%.

A continuación tabla resumen de las eficiencias de deposición de electrodos y alambres de acuerdo al proceso seleccionado.

Tabla 4. Eficiencias de deposición.

| PROCESO | EFICIENCIA DE DEPOSICION (%) |
|---------|------------------------------|
| SMAW | 50 - 70% |
| GTAW | 95 - 100% |
| GMAW | 90 - 97% |
| FCAW | 80 - 90% |

Fuente Costos de soldadura ESAB Conarco. Página 2.

3.3 FACTOR DE OPERACIÓN [52]

Es el tiempo de cada proceso expresado en %, durante el cual el arco está encendido por cada hora de trabajo.

En todo trabajo de soldadura existe una gran cantidad de tiempo que se pierde en las tareas de preparación de juntas, amolado, cambio de electrodos, etc., las cuales prolongan considerablemente el trabajo de soldadura, a lo que se le denomina tiempo muerto.

En el proceso SMAW y GTAW, este factor oscila entre un 20 % y un 60 %, dependiendo del tipo de trabajo a realizar. En el proceso TIG, los valores pueden aumentar considerablemente si el sistema está automatizado, como en el caso de la soldadura Orbital.

En los procesos GMAW y FCAW, el factor de operación podrá acercarse al 30 - 80 %, según el grado de automatización del sistema productivo, ya que cuanto más rápido y seriado sea el trabajo de preparación más subirá este índice.

A continuación tabla resumen de los factores de operación de acuerdo al proceso seleccionado.

Tabla 5. Factor de operación.

| PROCESO | FACTOR DE OPERACION (%) |
|---------|-------------------------|
| SMAW | 20 - 60% |
| GTAW | 20 - 60% |
| GMAW | 30 - 80% |
| FCAW | 30 - 80% |

Fuente Conceptos para la estimación de costos en la fabricación de uniones soldadas.

3.4 PESO DEL METAL DEPOSITADO [53]

Este cálculo nos permite determinar la cantidad de material necesario para llenar una junta, para ello es necesario comenzar con el cálculo de la sección transversal de la junta, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$P.M.D = At * L * \delta$$

Donde

$P.M.D$ = Peso del material depositado

At = Area transversal de la soldadura

L = Longitud de la soldadura

δ =Densidad del material

3.5 COSTO DE MATERIAL DE SOLDADURA [54]

El costo de material depositado de soldadura se determina como sigue la ecuación:

$$C.M.S. = C.M.A.D + C.G.P + C.F$$

Donde

$C.M.S$ = Costo de material de soldadura

$C.M.A.D$ = Costo de material de aporte depositado

$C.G.P$ = Costo de material de aporte depositado

$C.F$ = Costo del fundente (para este trabajo no se tendrá como referencia debido a que no se analizará el proceso de soldadura SAW)

3.5.1 Costo material de aporte depositado. Se determina teniendo la relación entre el peso de material depositado y la eficiencia de deposición en la cual se tiene en cuenta los desperdicios de material para calcular el valor real de deposita de material, se obtiene como sigue la ecuación [55]:

$$C.M.A.D = \frac{V.E * P.M.D}{E.D}$$

Donde

$C.M.A.D$ = Costo de material de aporte depositado (\$)

$V.E$ = Valor del Electrodo (\$/Kg)

$P.M.D$ = Peso del metal depositado (Kg)

$E.D$ = Eficiencia de deposición (%)

3.5.2 Costo del gas de protección. Se determina teniendo en cuenta la velocidad de flujo del gas, velocidad de deposición y factor de operación, se obtiene como sigue la ecuación [56]:

$$C.G.P = V.G * \frac{F.G.P * P.M.D}{V.D} * \frac{E.D}{F.O}$$

Donde

$C.G.P$ = Costo del gas de protección (\$)

$V.G$ = Valor del gas de protección (\$/m³)

$F.G.P$ = Flujo del gas de protección (m³/h)

$P.M.D$ = Peso del metal depositado (Kg)

$V.D$ = Velocidad de deposición (Kg/h)

$E.D$ = Eficiencia de deposición (%)

$F.O$ = Factor de Operación (%)

A continuación tabla resumen de los flujos de gas de acuerdo al proceso seleccionado.

Tabla 6. Flujo de gas.

| PROCESO | FLUJO DE GAS (m³/h) |
|---------|------------------------|
| GTAW | 0,5 – 1,0% |
| GMAW | 0,8 – 1,2% |
| FCAW | 1,0 – 1,4% |

Fuente Conceptos para la estimación de costos en la fabricación de uniones soldadas.

3.6 COSTOS DE MANO DE OBRA [57]

El costo de la mano de obra es el jornal horario pagado al soldador y ayudantes relacionados con el trabajo y deposición de metal de soldadura realizado dependerá de factores como habilidad del soldador, posición de la junta, diámetro del electrodo, se obtiene como sigue la ecuación:

$$C.M.O = V.M.O * \frac{P.M.D}{V.D} * \frac{E.D}{F.O}$$

Donde

$C.M.O$ = Costo de mano de obra (\$)

$V.M.O$ = Valor de la mano de obra (\$/h)

$P.M.D$ = Peso del metal depositado (Kg)

$V.D$ = Velocidad de deposición (Kg/h)

$E.D$ = Eficiencia de deposición (%)

$F.O$ = Factor de Operación (%)

3.7 COSTOS DE ENERGIA ELECTRICA [58]

El voltaje y amperaje que se utilicen son las variables que afectaran directamente este costo, se obtiene como sigue la ecuación:

$$C.E.E = V.E.E * \frac{V * I}{1000} * \frac{P.M.D}{V.D} * E.D$$

Donde

$C.E.E$ = Costo de la energía eléctrica (\$)

$V.E.E$ = Valor de la energía eléctrica (\$/Kw-h)

V = Voltaje de la soldadura (voltios)
 I = Amperaje de la soldadura (Amperios)
 $P.M.D$ = Peso del metal depositado (Kg)
 $V.D$ = Velocidad de deposición (Kg/h)
 $E.D$ = Eficiencia de deposición (%)

3.8 COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN [59]

Engloban todos los gastos indirectos, que incidirán en el costo total del trabajo a realizar. Estos incluyen: la mano de obra indirecta, amortización de los equipos, costo de materiales, inspección, mantenimiento de equipos, seguros, fletes y todos los elementos que agregan costo al trabajo, se obtiene como sigue la ecuación:

$$C.I.F = V.C.I * \frac{P.M.D}{V.D} * \frac{1}{F.O}$$

Donde

$C.I.F$ = Costo indirecto de fabricación (\$)
 $V.C.I$ = Valor del costo indirecto (\$/h)
 $P.M.D$ = Peso del metal depositado (Kg)
 $V.D$ = Velocidad de deposición (Kg/h)
 $F.O$ = Factor de Operación (%)

3.9 COSTOS TOTAL DE SOLDADURA [60]

Se establece a partir de la involucración de todos los costos que forman parte del proceso de soldadura, se obtiene a partir de la ecuación:

$$C.T.S. = C.M.S + C.M.O + C.E.E + C.I.F$$

Donde

$C.T.S$ = Costo total de soldadura
 $C.M.S$ = Costo de material de soldadura
 $C.M.O$ = Costo de mano de obra
 $C.E.E$ = Costo de energía eléctrica
 $C.I.F$ = Costo indirecto de fabricación

4 SIMULACION ECONOMICA PARA REPARACION DE TUBERIAS DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

4.1 DISEÑO DE LA BASE DE DATOS

El programa desarrollado funciona sobre el programa EXCEL, a través de macros y formulación lógica pretende tener una interfaz grafica amigable y de fácil manejo, la base de datos permite calcular los costos totales involucrados durante el proceso de soldadura para la reparación de líneas de transporte; aunque esta no incluye los costos de corte, preparación de materiales y pintura.

Dentro de la variable eficiencia de deposición no se considero las perdidas en las colillas del metal de aporte y metal de soldadura removido, esto obedece a que las pérdidas son inherentes a cada WPS dado que la cantidad de material que se debe remover en una soldadura multipase depende del diseño de la junta y el número de pases, que a su vez depende del diámetro de los electrodos utilizados.

A continuación se describirá el procedimiento del funcionamiento de la base de datos:

1. Seleccionar las características físicas del material base (clase de tubería - diámetro – espesor). Estos parámetros se encuentran definidos dentro de un rango.
2. Seleccionar el proceso de soldadura a utilizar. Tener en cuenta que puedes elegir uno ó multiproceso.
3. Seleccionar el tipo de soldadura e ingresar los datos de acuerdo al tipo de soldadura seleccionado los cuales están definidos dentro de un rango. Solo se puede elegir uno, el programa automáticamente genera el área, volumen y peso del metal depositado
4. Seleccionar el material de aporte. De acuerdo al proceso de soldadura seleccionado se elige el electrodo (varilla ó alambre) y su respectivo diámetro, parámetros definidos dentro de un rango, el programa automáticamente genera amperaje, voltaje y velocidad de deposición.
5. Seleccionar el tipo de gas. De acuerdo al proceso se selecciona el tipo de gas si no lleva ningún tipo gas no seleccionar. Al final se genera el costo total involucrado en el proceso de soldadura
6. Seleccionar Estadísticas. Un cuadro resumen donde realiza los comparaciones de los diferentes tipos de costos, porcentajes y su influencia sobre el costo total.

4.2 SIMULACION

La simulación surge de la necesidad de generar posibilidades de convertir sus modelos determinísticos (una solución) en probabilísticos (múltiples soluciones), su concepto se basa en el desarrollo de un modelo lógico-matemático de un sistema de tal forma que se obtiene una imitación de la operación de un proceso de la vida real o de un sistema a través del tiempo, la simulación involucra la generación de una historia artificial de un sistema, la observación de esta historia mediante la manipulación experimental, nos ayuda a inferir las características operacionales de tal sistema. [61]

A continuación se simularán las corridas de acuerdo a los procesos de soldadura que se establecieron dentro de la reparación de tuberías de transporte de hidrocarburos, de igual forma se modificará simultáneamente demás variables (tipos de soldadura – tipo de reparación – longitud- material base – diámetros - gas - etc....) con el objeto de realizar un análisis de sensibilidad de estas variables en la incidencia que tengan estas frente al costo total. Adicional se realizarán corridas con selección de multiprocesos, esto con el fin de abrir nuevas posibilidades en la ejecución de los procesos de soldadura.

Simulación No.1. Tubería API5LX52; Ø: 10,75; E: 0,344; Proceso: SMAW; Tipo de soldadura: Ranura Bisel en V; Tipo de reparación: Sustitución; Datos: abertura de raíz 5/64, cara de raíz 5/64, refuerzo 1/16; Angulo 30°. Material de aporte E6010-Ø: 1/8; E7010-A1 - Ø: 3/16.

Costo total: 143.837,542. Ver anexo 6.

Simulación No.2. Tubería API5LX52; Ø: 10,75; E: 0,344; Proceso: GMAW; Tipo de soldadura: Ranura Bisel en V; Tipo de reparación: Sustitución; Datos: abertura de raíz 5/64, cara de raíz 5/64, refuerzo 1/16; Angulo 30°. Material de aporte ER70S-6 - Ø: 0,035 – 0,045; Gas CO₂.

Costo total: 73.985,418. Ver anexo 7.

Simulación No.3. Tubería API5LX52; Ø: 10,75; E: 0,344; Proceso: FCAW-G; Tipo de soldadura: Ranura Bisel en V; Tipo de reparación: Sustitución; Datos: abertura de raíz 5/64, cara de raíz 5/64, refuerzo 1/16; Angulo 30°. Material de aporte E71T-1C - Ø: 0,045 – 0,052; Gas CO₂.

Costo total: 81.727,240. Ver anexo 8.

Simulación No.4. Tubería API5LX65, Ø: 16; €: 0,344; Proceso: SMAW; Tipo de soldadura: Ranura Bisel en V; Tipo de reparación: Sustitución; Datos: abertura de raíz 1/8, cara de raíz 1/16, refuerzo 1/16; Angulo 30°. Material de aporte E8010- Ø: 1/8 – 3/16.

Costo total: 318.469,258. Ver anexo 9.

Simulación No.5. Tubería API5LX65, Ø: 16; €: 0,344; Proceso: GMAW; Tipo de soldadura: Ranura Bisel en V; Tipo de reparación: Sustitución; Datos: abertura de raíz 1/8, cara de raíz 1/16, refuerzo 1/16; Angulo 30°. Material de aporte ER70S-6 - Ø: 0,035 – 0,045; Gas CO₂.

Costo total: 160.985,990. Ver anexo 10.

Simulación No.6. Tubería API5LX65, Ø: 16; €: 0,344; Proceso: FCAW-G; Tipo de soldadura: Ranura Bisel en V; Tipo de reparación: Sustitución; Datos: abertura de raíz 1/8, cara de raíz 1/16, refuerzo 1/16; Angulo 30°. Material de aporte E71T-1C Ø: 0,045 – 0,052; Gas CO₂.

Costo total: 178.192,994. Ver anexo 11.

Simulación No.7. Tubería API5LX65, Ø: 16; €: 0,344; Proceso: Multiproceso SMAW (raíz) GMAW (caliente-relleno-presentación); Tipo de soldadura: Ranura Bisel en V; Tipo de reparación: Sustitución; Datos: abertura de raíz 1/8, cara de raíz 1/8, refuerzo 1/16; Angulo 30°. Material de aporte E8010- Ø: 1/8; ER70S-6 - Ø: 0,045. Gas CO₂.

Costo total: 164.646,662. Ver anexo 12.

Simulación No.8. Tubería API5LX60, Ø: 12,725; €: 0,375; Proceso: SMAW; Tipo de soldadura: Ranura Bisel Recto; Tipo de reparación: Camisas; Datos: abertura de raíz 1/8, refuerzo 1/16, longitud 10 inches; Tipo de soldadura: Filete; Datos: Pierna1 0,375, Pierna 2 0,375. Material de aporte E7018-A1 Ø: 3/32;

Costo total: Ranura bisel recto 16.949,699. Filete 70.479,118. Ver anexo 13.

Simulación No.9. Tubería API5LX60, Ø: 12,725; €: 0,375; Proceso: GMAW; Tipo de soldadura: Ranura Bisel Recto; Tipo de reparación: Camisas; Datos: abertura de raíz 1/8, refuerzo 1/16, longitud 10 inches; Tipo de soldadura: Filete; Datos: Pierna1 0,375, Pierna 2 0,375. Material de aporte ER70S-6 - Ø: 0,035; Gas CO₂.

Costo total: Ranura bisel recto 9.782,106. Filete 40.675,306 Ver anexo 14.

Simulación No.10. Tubería API5LX60, Ø: 12,725; €: 0,375; Proceso: Multiproceso SMAW (raíz) GMAW (caliente-relleno-presentación); Ranura Bisel Recto; Tipo de

reparación: Camisas; Datos: abertura de raíz 1/8, refuerzo 1/16, longitud 10 inches; Tipo de soldadura: Filete; Datos: Pierna1 0,375, Pierna 2 0,375. Material de aporte E7018-A1 Ø: 3/32 - ER70S-6 - Ø: 0,035; Gas CO₂.
Costo total: Ranura bisel recto 11.256,659. Filete 46.636,068. Ver anexo 15.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Las variables seleccionados para simular los costos bajo el proceso SMAW (material base – proceso – tipo de soldadura – diseño de junta - diámetros – espesores – material de aporte), corresponden a WPS desarrollados para diferentes proyectos que se encuentran en los anexos. Dentro de los resultados obtenidos por la base de datos se observa claramente que los costos que tienen mayor incidencia frente al costo total son los indirectos de fabricación y mano de obra, esta constante se mantiene al cambiar el proceso de soldadura, debido a que son los de mayor valor fijo y la relación directa que tienen la eficiencia y factor de operación correspondiente a cada proceso para que fluctúe su valor.

Al realizar la comparación de costos para sustitución de tramos de tubería en reparación de líneas de transporte se encuentra que el proceso más económico para este tipo de trabajos es el GMAW, esto obedece a que presenta unas altas velocidades deposición, factor de operación y eficiencias de deposición, así como también una mano de obra y CIF más económicos respecto a los otros procesos la combinación de todas estas variables lo convierte en un proceso más eficiente. Tener en cuenta que los valores de mano de obra y CIF pertenecen a la industria petrolera, por lo cual estos valores pueden ser lejanos a los de otro tipo de industria.

En comparación frente a otros programas desarrollados para el cálculo de los costos de soldadura, se observa que la base de datos propuesta en el presente trabajo exhibe un valor agregado frente a otros, el cual permite la combinación o selección de diversos procesos de soldadura dentro de la ejecución de una misma junta, situación que transcurre actualmente en diferentes industrias.

Las simulaciones presentadas se realizaron de acuerdo a los materiales indicados en el wps para el proceso SMAW, el criterio de selección para escoger materiales de aporte para otros procesos fue de acuerdo a similitud o equivalencias en la resistencia mecánica, pero la realización del WPS en campo será el encargado de verificar que las variables seleccionadas satisfacen las condiciones mecánicas de la unión soldada para el diseño del servicio.

La metodología para la reparación de tubería en servicio aquí propuesta apoya al personal técnico que dirige, supervisa y realiza este tipo de actividad. Esta

metodología no pretende suplantar el trabajo con los códigos que regulan estas tareas, sino complementarlo para garantizar lograr una culminación exitosa y totalmente segura de dichos trabajos.

5.2 RECOMENDACIONES

Los valores tomados y registrados dentro de la base de datos tanto para rendimientos de proceso y materiales (eficiencias del proceso – factor de operación – amperajes - voltajes – velocidades de deposición – flujos de gas) corresponden a valores teóricos por lo cual se sugiere validarlos en campo para contrastarlos y ajustar los rangos de las diferentes variables lo cual permitirá tener unos datos más cercanos al proceso real.

A partir de las nuevas tecnologías se puede lograr alcanzar un trabajo eficiente manteniendo las características de calidad en la unión soldada, por lo cual este trabajo pretende abrir y explorar nuevas posibilidades de procesos ó combinaciones de estos que conserven las propiedades mecánicas de la unión soldada pero con unos mejores rendimientos.

Para un mayor acercamiento de los costos reales de un proyecto de reparación de líneas de transporte de hidrocarburos se debe vincular la estimación de costos de procesos de preparación de juntas (corte y biselado) y limpieza (remoción mecánica – sanblasting) para efectuar la unión a soldar, estos datos deben ser medidos y recogidos en campo para establecer tiempos estándares.

BIBLIOGRAFIA

[1], [4], [6], BONILLA SALAZAR, Carlos Eduardo; RUEDA, Cristian Marcelo. Optimización de los procesos en la construcción de estructuras metálicas de edificios. Quito. 2007. Página 52; Página 52, Página 2.

[2], [5] HOULDCROFT, P.T. Tecnología de los procesos de soldadura. Madrid. Ed Ceac S.A. 2000. Página 9; Página 8.

[3] GIACHINO, Joseph; WEEKS, William R. Técnica y práctica de la soldadura; Madrid. Ed Reverté S.A. 2007. Página 1-2.

[7], [9] EXSA S.A. Elaboración de presupuestos y control de costos en soldaduras. Lima. Página 3.

[8] es.wikipedia.org/wiki/Soldadura#Costos-y-tendencias.

[10], [11], [33], [34], [39]; [54] RAMIREZ, Heriberto Maury; NIEBLES, Enrique Esteban. Diseño para la fabricación y ensamble de productos; Barranquilla. Ed Uninorte. 2009. Página 222; Página 222; Página 210; Página 211; Página 78; Página 225.

[12] ASTA, Eduardo. Diseño de Uniones. Página 2.

[13] BOTERO GONZALES, Robinson. Zonalogística. Revista de la Comunidad Andina de Naciones. Tercer 3 Especial Logística en America Latina. (Colombia); 2004. Página 4.

[14], [15] API5L 44TH edition. Specification for line pipe. Página 1; Página 13.

[16], [18], [19] GALDO AGUIRRE Manual Nicolás. Soldeo iniciación a la tecnología; Página 70; Página 70; Página 74.

[17], [20], [21], [22], [23], [36] INSTITUTO CHILENO DE SOLDADURA. Curso inspector de soldadura AWS QC1:2007. Chile. Página 106; Página 114; Página 125; Página 137; Página 147; Página 23.

[24] HILLIER, Frederick; LIEBERMAR, Gerald. Investigación de operaciones. Séptima Edición. México. Ed McGraw-Hill. 2001. Pagina 764.

[25] www.mitecnologico.com/Main/ArbolesDeDecision.

[26], [27] es.wikipedia.org/wiki/Principio_de_Pareto.

[28], [29], [30], [31] ASTA, Eduardo. Criterios técnicos básicos para una adecuada soldadura de los aceros estructurales. Argentina. Ed Esab – Conarco

[32], [48] API 1104. Soldadura de tuberías en línea y facilidades relacionadas. EEUU. 2005. Página 59; Página 59-68.

[35] Tecnología de inspección de soldadura. Módulo 4. Página 17-22;

[37] INSTITUTO DE SOLDADURA WEST ARCO. Fundamentos de geometría de las uniones soldadas.

[40], [41], [42], [43] GOTERA, Eddin. Guía para el diseño de tuberías. Página 5-6; Página 7; Página 8; Página 10.

[38], [44], [45], [47] ASME B31.4. Tuberías sistemas de transporte de hidrocarburos líquidos y otros líquidos. EEUU. 2006. Página 7; Página 25-26; Página 8-11; Página 61-65

[46] ASME PCC 2; Reparación de equipos de presión y líneas de tubería. EEUU. 2011. Página 24-29.

[49] MAZUERA ROBLEDO, David; GIRALDO BARRADA, Jorge Enrique. Estudio de productividad en la soldadura del acero MIL A 46100 con los procesos GMAW y SMAW. Colombia. 2011; Página 68.

[50], [51], [52], [53] TAFFONI, Javier. Costos de Soldadura. Argentina. ESAB-CONARCO. 2006; Página 1; Página 2; Página 2; Página 3

[55], [56], [57], [58], [59], [60] INSTITUTO DE SOLDADURA WEST ARCO. Conceptos para la estimación de costos en la fabricación de las uniones soldadas. Colombia. 2001.

[61] AZARANG M; GARCIA E; Simulación y análisis de modelos estocásticos; México. Ed McGraw Hill. 2001


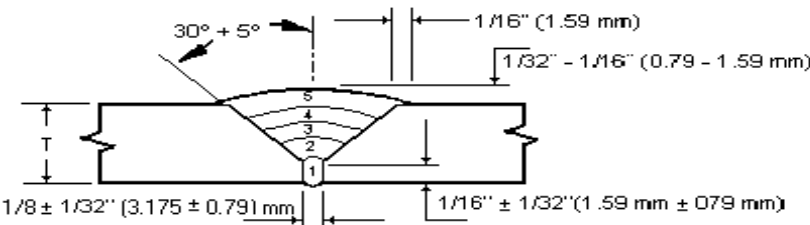

ANEXOS

ANEXO 1. TABLA RESUMEN DE SELECCIÓN DE MATERIALES


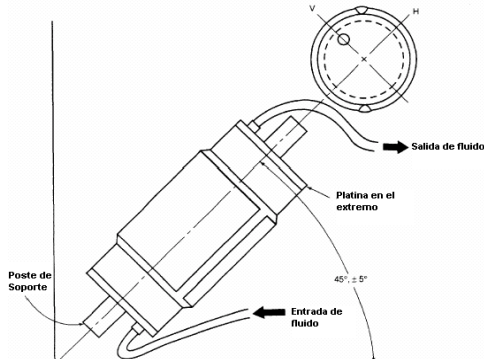
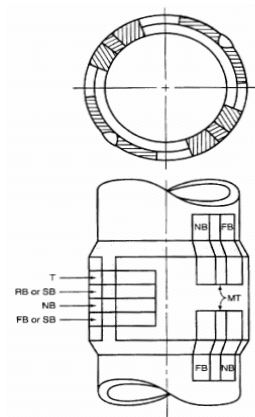
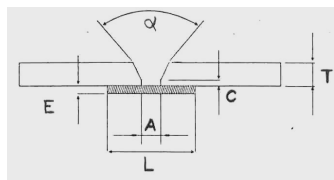
| ECOPETROL S.A. | | | | |
|--------------------------------------|---------------------|-----------------|--------------|------------------|
| DUCTOS VICEPRESIDENCIA DE TRANSPORTE | | | | |
| | DIAMETRO (in) | ESPESOR (in) | GRADO API | LONG (m) |
| 1 | 8,625 | 0,250 | 5LX-42 | 103.238 |
| 2 | 8,625 | 0,250 | 5LX-52 | 487.868 |
| 3 | 8,625 | 0,277 | 5LX-52 | 81.013 |
| | Total 8,625 | | | 672.119 |
| 4 | 10,750 | 0,250 | 5LX-52 | 285.473 |
| 5 | 10,750 | 0,279 | 5LX-52 | 179.090 |
| 6 | 10,750 | 0,344 | 5LX-52 | 73.380 |
| | Total 10,750 | | | 537.943 |
| 7 | 12,750 | 0,281 | 5LX-60 | 168.543 |
| 8 | 12,750 | 0,312 | 5LX-52 | 201.083 |
| 9 | 12,750 | 0,375 | 5LX-52 | 175.848 |
| 10 | 12,750 | 0,344 | 5LX-65 | 96.607 |
| 11 | 12,750 | 0,250 | 5LX-60 | 74.100 |
| | Total 12,750 | | | 716.181 |
| 12 | 14 | 0,344 | 5LX-52 | 143.000 |
| 13 | 14 | 0,281 | 5LX-52 | 168.335 |
| | Total 14 | | | 311.335 |
| 14 | 16 | 0,375 | 5LX-60 | 255.128 |
| 15 | 16 | 0,312 | 5LX-65 | 146.216 |
| 16 | 16 | 0,344 | 5LX-65 | 113.631 |
| | Total 16 | | | 514.975 |
| 17 | 24 | 0,469 | 5LX-65 | 563.315 |
| 18 | 24 | 0,281 | 5LX-65 | 320.870 |
| | Total 24 | | | 884.185 |
| Total general | | | | 3.636.738 |


Para verificar el procedimiento de selección de materiales seguir el link [Selección Material Base.](#)


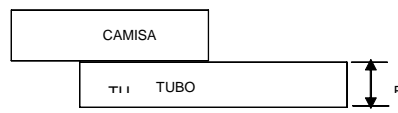
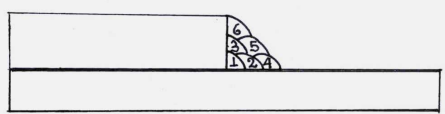
ANEXO 2. ESPECIFICACION PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA CONSTRUCTIVO


|  <small>INSPEQ INGENIERIA LTDA</small> | ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS API 1104 | DI0212-4F CEISMA - ECP WPS No: SMAW 002-04 FECHA: 04 - 12 - 15 PAG No. 1 DE 1 O/S No. 082.04 O/T No: | | | | | | |
|---|--|--|----------|--|-----------|---------|---------------|---------------|
| PROYECTO: OLEODUCTO CAÑO LIMON-COVEÑAS COMPAÑIA:ECOPETROL | | | | | | | | |
| WPS No: SMAW 002-04 | CODIGO ESPECIFICACION: API 1104 | | | | | | | |
| APLICABLE A: TUBERIA | | | | | | | | |
| PROCESO: SMAW | TIPO: MANUAL | | | | | | | |
| MATERIAL BASE: API 5L X65 | | | | | | | | |
| DISEÑO DE JUNTA EN V ESTANDAR | | | | | | | | |
| RANGO DE DIAMETROS : 18" | RANGO DE ESPESORES: 4,8 mm a 19,1 mm | | | | | | | |
| METAL DE APORTE: AWS E8010G | No. MINIMO DE CORDONES: 3 O MAS | | | | | | | |
| CARAC. ELECTRICAS: CD PI | FUNDENTE: N.A | | | | | | | |
| POSICION: 6G | GAS Y RATA DE FLUJO: N.A | | | | | | | |
| PROGRE. DE LA SOLDADURA: ASCEND/DESCEND | CARAC. DE LLAMA: N.A | | | | | | | |
| NUMERO DE SOLDADORES: UNO O DOS | | | | | | | | |
| TIEMPO ENTRE PASES: 10 min MAXIMO TERMINACION PRIMER PASE E INICIO DEL SEGUNDO PASE. | | | | | | | | |
| TIPO DE GRAPA DE ALINEACION: EXTERNA O INTERNA | | | | | | | | |
| REMOCION GRAPA DE ALINEACION: EXTERNA 50% DEL PASE DE RAZ, PASE DE RAZ INTERNO 100% | | | | | | | | |
| LIMPIEZA INICIAL ENTRE PASES: PRIMER Y SEGUNDO PASE DISCO ABRASIVO, OTROS PASES GRATA. | | | | | | | | |
| PRECALENTAMIENTO: 50-100°C PARA ELIMINAR HUMEDAD | | | | | | | | |
| RANGO DE VELOCIDAD: 10 a 20 Cm/min. Para 1 ^{er} y 2 ^o Pase, 15 a 30 Cm/min para los siguientes. | | | | | | | | |
| DETALLE DE LA JUNTA | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | |
| TABLA DE CARACTERISTICAS ELECTRICAS | | | | | | | | |
| No. PASE | PROCESO | METAL DE APORTE | | CORRIENTE | | VOLTIOS | cm/min | OBSERVACIONES |
| | | CLASE | DIAMETRO | POLARIDAD | AMPERIOS | | | |
| 1 | SMAW | E8010 G | 1/8" | CD PI | 110 - 160 | 20 - 32 | 10-20 | ASCENDENTE |
| 2 | SMAW | E8010 G | 5/32" | CD PI | 110 - 160 | 22 - 32 | 10-20 | ASCENDENTE |
| 3 | SMAW | E8010 G | 3/16" | CD PI | 130 - 180 | 22 - 33 | 15-30 | DESCENDENTE |
| n | SMAW | E8010 G | 3/16" | CD PI | 130 - 180 | 22 - 33 | 15-30 | DESCENDENTE |
| | | | | | | | | |
| ING. INSPECTOR NOMBRE ING. EDDIE EBRATT RAVELO. FIRMA | | | |  CEISMA - ECOPETROL CLIENTE | | | INTERVENTORIA | |

ANEXO 3. CALIFICACION DE PROCEDIMIENTOS DE REPARACIONES

| | | | |
|---|---|--|--|
|  INSPEQ INGENIERÍA LTDA | CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA PQR 001 BQ-05 API 1104 Apéndice B | | D10212-6F FECHA: 05.26.08 PAG. No. 1 DE 10 O/S No. 077.05 O/T No. |
| | FECHA CALIFICACIÓN: BOGOTÁ, AGOSTO 13 DE 2005 | | INFORME: |
| Calificación de Procedimiento de Soldadura según: WPS SMAW 001 B-05 | | Revisión: 0 | |
| Proceso de soldadura: SMAW | | Tipo: MANUAL | |
| Aplicación: Soldadura de tuberías en servicio para el transporte de hidrocarburos y derivados | | | |
| Nombre del Cliente: ECOPETROL S.A. - CONSORCIO CEI-SMA | | | |
| Nombre del Soldador: JOHN MIGUEL BOLAÑOS FERIA | | Código: JB | |
| Identificación: C.C. No. 79.506.072 de BOGOTÁ | | | |
| Material de los Tubos: API 5L X60 | | Diámetro Exterior: 12 3/4" | |
| Espesor de la pared: E= 0.375" (9.53 mm) | | Origen: --- | |
| Tipo de junta: A TOPE, Bisel en "V" SENCILLO y TRASLAPADA | | Soldadura: DE RANURA Y DE FILETE | |
| Respaldo en la Junta a Tope: ACERO AL CARBONO | | Material: ASTM A 36 | |
| Localización de la obra: MANTENIMIENTO LÍNEAS EN SERVICIO - VER INSTRUCTIVO | | | |
| Propietario: ECOPETROL S.A. | | Contratista: --- | |
| Norma: APÉNDICE B ESTÁNDAR API 1104 / 1999 | | Posición: FIJA A 45° | |
| MONTAJE DEL CUPÓN DE PRUEBA | | TIPOS DE JUNTA Y SOLDADURA | |
|  <p>Nota: Esta posición de ensayo califica el procedimiento para todas las posiciones. Los ensayos pueden ser desarrollados en otras posiciones las cuales calificarán el procedimiento solamente para esa posición.</p> | |  | |
| OBSERVACIONES: Se hizo fluir agua durante toda la ejecución del cupón de prueba. | | | |
| SOLDADURA DE RANURA | | | |
|  | | GEOMETRÍA DE LA JUNTA (CAMISA) | |
| Ángulo de la Ranura, alfa | | 60° | |
| Abertura de Raíz, A | | 0 - 1/4" | |
| Cara de la Raíz, C | | 0 | |
| Espesor, T | | 0.350" | |
| E = | 1/16" | | |
| L = | 1" | | |

|  INSPEQ INGENIERÍA LTDA | CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA PQR 001 BQ-05 API 1104 Apéndice B | | D10212-6F FECHA: 05.26.08 PAG. No. 2 DE 10 O/S No. 077.05 O/T No. | | | | | |
|---|---|---------------------------|--|-------------------------|-------|---------------------------|------------------------|-------------------------------|
| | Temperatura Mínima de Pre calentamiento: 10°C | | | | | | | |
| Temperatura Mínima entre Pases: N.A. | | | | | | | | |
| ELECTRODO USADO EN LA APLICACIÓN | | | | | | | | |
| Marca: WEST ARCO | | Referencia: WIZ 18 | | Origen: COLOMBIA | | | | |
| Fabricante: ELECTROMANUFACTURAS S.A. | | | | | | | | |
| Clasificación AWS: E-7018-1 | | Grupo N°: 3 | | | | | | |
| Normas o Especificaciones que cumplen: AWS A 5.1, ICONTEC 2191, ASME SFA5.1 | | | | | | | | |
| Aprobado: ABS (Grado 3H, 3Y), Lloyd's Register (Grado 3) | | | | | | | | |
| COSTURA LONGITUDINAL SUPERIOR | | | | | | | | |
| CAPA DE SOLDADURA No.: | ELECTRODO | | DIAM. Ø | AMP. | VOLT. | CORRIENTE POLARIDAD | DIRECCIÓN SOLDADURA | LIMPIEZA |
| | AWS | REFER. | | | | | | |
| 5 (9 cordones) 4 (6 cordones) 3 (6 cordones) 2 (6 cordones) 1 (5 cordones) | | | | | | | | |
| | E-7018-1 | WIZ 18 | 3/32" | 79-95 | 19-26 | DC + | ASCENDENTE | PICAESCORIA Y GRATA ELÉCTRICA |
| | E-7018-1 | WIZ 18 | 3/32" | 80-90 | 19-25 | DC + | ASCENDENTE | PICAESCORIA Y GRATA ELÉCTRICA |
| | E-7018-1 | WIZ 18 | 3/32" | 79-92 | 19-27 | DC + | ASCENDENTE | PICAESCORIA Y GRATA ELÉCTRICA |
| | E-7018-1 | WIZ 18 | 3/32" | 80-92 | 19-26 | DC + | ASCENDENTE | PICAESCORIA Y GRATA ELÉCTRICA |
| | E-7018-1 | WIZ 18 | 3/32" | 84-98 | 22-27 | DC + | ASCENDENTE | DISCO Y GRATA |
| COSTURA LONGITUDINAL INFERIOR | | | | | | | | |
| CAPA DE SOLDADURA No.: | ELECTRODO | | DIAM. Ø | AMP. | VOLT. | CORRIENTE POLARIDAD | DIRECCIÓN SOLDADURA | LIMPIEZA |
| | AWS | REFER. | | | | | | |
| 4 (7 cordones) 3 (5 cordones) 2 (4 cordones) 1 (4 cordones) | | | | | | | | |
| | E-7018-1 | WIZ 18 | 3/32" | 81-107 | 21-27 | DC + | ASCENDENTE | PICAESCORIA Y GRATA ELÉCTRICA |
| | E-7018-1 | WIZ 18 | 3/32" | 83-94 | 21-32 | DC + | ASCENDENTE | PICAESCORIA Y GRATA ELÉCTRICA |
| | E-7018-1 | WIZ 18 | 3/32" | 81-115 | 21-27 | DC + | ASCENDENTE | PICAESCORIA Y GRATA ELÉCTRICA |
| | E-7018-1 | WIZ 18 | 3/32" | 79-90 | 21-26 | DC + | ASCENDENTE | DISCO Y GRATA |
| REGISTRO DE LA VELOCIDAD DE AVANCE | | | | | | | | |
| COSTURA LONGITUDINAL SUPERIOR | | | COSTURA LONGITUDINAL INFERIOR | | | | | |
| CAPA DE SOLDADURA No.: | VELOCIDAD AVANCE | | CAPA DE SOLDADURA No.: | VELOCIDAD AVANCE | | CAPA DE SOLDADURA No.: | VELOCIDAD AVANCE | |
| | mm/s | ipm | | mm/s | ipm | | mm/s | ipm |
| | | | | | | | | |
| 5 (9 cordones) | 2.5 | 6 | | | | | | |
| 4 (6 cordones) | 2.7 | 6.5 | 4 (7 cordones) | 2.1 | 5 | | | |
| 3 (6 cordones) | 2.6 | 6 | 3 (5 cordones) | 2.3 | 5.4 | | | |
| 2 (6 cordones) | 3 | 7 | 2 (4 cordones) | 2.2 | 5.2 | | | |
| 1 (5 cordones) | 2 | 5 | 1 (4 cordones) | 2.1 | 5 | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---------------------------------|--|--------------------|--|------------------------|-------------------------------|--|-----------------|--|---|--|---|--|
|  INSPEQ INGENIERÍA LTDA | CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA PQR 001 BQ-05 API 1104 Apéndice B | | | | D10212-6F FECHA: 05.26.08 PAG. No. 3 DE 10 O/S No. 077.05 O/T No. | | | | | | | | | |
| | SOLDADURA DE FILETE | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | GEOMETRÍA DE LA JUNTA (CAMISA + TUBO) | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | Espesor del Tubo, ET | | | 0.375" | | | | | | | | |
| | | | Espesor de la Camisa, Ec | | | 0.350" | | | | | | | | |
| ELECTRODO USADO EN LA APLICACIÓN | | | | | | | | | | | | | | |
| Marca: | | WEST ARCO | | Referencia: | | WIZ 18 | Origen: | | COLOMBIA | | | | | |
| Fabricante: | | ELECTROMANUFACTURAS S.A. | | | | | | | | | | | | |
| Clasificación AWS: | | E-7018-1 | | Grupo N°: | | 3 | | | | | | | | |
| Normas o Especificaciones que cumplen: | | | | | | | | | | | AWS A 5.1, ICONTEC 2191, ASME SFA5.1 | | | |
| Aprobado: | | | | | | | | | | | | | ABS (Grado 3H, 3Y), Lloyd's Register (Grado 3) | |
| NÚMERO DE CAPAS Y SECUENCIA DE LOS CORDONES APLICADOS | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | | | |
| COSTURA CIRCULAR SUPERIOR | | | | | | | | | | | | | | |
| CAPA DE SOLDADURA | | ELECTRODO | | DIAM. Ø | CORRIENTE POLARIDAD | DIRECCIÓN SOLDADURA | LIMPIEZA | | | | | | | |
| No.: | | AWS | REFER. | | | | | | | | | | | |
| 3 | | E-7018-1 | WIZ 18 | 3/32" | DC + | ASCENDENTE | PICAESCORIA Y GRATA ELÉCTRICA | | | | | | | |
| 2 | | E-7018-1 | WIZ 18 | 3/32" | DC + | ASCENDENTE | PICAESCORIA Y GRATA ELÉCTRICA | | | | | | | |
| 1 | | E-7018-1 | WIZ 18 | 3/32" | DC + | ASCENDENTE | DISCO Y GRATA | | | | | | | |
| CAPA DE SOLDADURA N° | | NÚMERO DE CORDONES | | AMPERAJE | VOLTAJE | VELOCIDAD DE AVANCE | | | | | | | | |
| | | | | | | mm/s | ipm | | | | | | | |
| 1 | 1 | IZQUIERDA | | 82-89 | 19-25 | 2.3 | 5.4 | | | | | | | |
| | | DERECHA | | 84-92 | 19-29 | 2.6 | 6.1 | | | | | | | |
| 2 | 2 | IZQUIERDA | | 88-93 | 21-26 | 3.2 | 7.5 | | | | | | | |
| | | DERECHA | | 91-97 | 20-25 | 3.5 | 8.4 | | | | | | | |
| | 3 | IZQUIERDA | | 88-96 | 21-24 | 2.3 | 5.5 | | | | | | | |
| | | DERECHA | | 86-94 | 20-27 | 2.4 | 5.6 | | | | | | | |
| | 4 | IZQUIERDA | | 87-96 | 19-23 | 2.6 | 6.2 | | | | | | | |
| | | DERECHA | | 85-97 | 19-25 | 3.9 | 9.2 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |

|  INSPEQ INGENIERÍA LTDA | CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA PQR 001 BQ-05 API 1104 Apéndice B | | | | | D10212-6F FECHA: 05.26.08 PAG. No. 4 DE 10 O/S No. 077.05 O/T No. | |
|---|---|-----------|------------|------------------------|------------------------|--|--|
| | | | | | | | |
| COSTURA CIRCULAR SUPERIOR | | | | | | | |
| CAPA DE SOLDADURA Nº | NÚMERO DE CORDONES | | AMPERAJE | VOLTAJE | VELOCIDAD DE AVANCE | | |
| | | | | | mm/s | ipm | |
| 3 | 5 | IZQUIERDA | 89-97 | 21-27 | 3.2 | 7.6 | |
| | | DERECHA | 89-96 | 20-28 | 3.8 | 9.0 | |
| | 6 | IZQUIERDA | 92-99 | 20-27 | 3.2 | 7.6 | |
| | | DERECHA | 90-97 | 19-28 | 2.5 | 5.9 | |
| COSTURA CIRCULAR INFERIOR | | | | | | | |
| CAPA DE SOLDADURA No.: | ELECTRODO | | DIAM. Ø | CORRIENTE POLARIDAD | DIRECCIÓN SOLDADURA | LIMPIEZA | |
| | AWS | REFER. | | | | | |
| 3 | E-7018-1 | WIZ 18 | 3/32" | DC + | ASCENDENTE | PICAESCORIA Y GRATA ELÉCTRICA | |
| 2 | E-7018-1 | WIZ 18 | 3/32" | DC + | ASCENDENTE | PICAESCORIA Y GRATA ELÉCTRICA | |
| 1 | E-7018-1 | WIZ 18 | 3/32" | DC + | ASCENDENTE | DISCO Y GRATA | |
| | | | | | | | |
| CAPA DE SOLDADURA Nº | NÚMERO DE CORDONES | | AMPERAJE | VOLTAJE | VELOCIDAD DE AVANCE | | |
| | | | | | mm/s | ipm | |
| 1 | 1 | IZQUIERDA | 81-89 | 20-26 | 2.1 | 4.9 | |
| | | DERECHA | 82-90 | 19-26 | 1.9 | 4.6 | |
| 2 | 2 | IZQUIERDA | 86-89 | 21-25 | 3.1 | 7.3 | |
| | | DERECHA | 84-88 | 20-24 | 2.5 | 5.9 | |
| | 3 | IZQUIERDA | 81-86 | 20-28 | 2.8 | 6.5 | |
| | | DERECHA | 83-89 | 21-27 | 2.0 | 4.7 | |
| 3 | 4 | IZQUIERDA | 87-91 | 20-26 | 2.8 | 6.7 | |
| | | DERECHA | 84-93 | 20-26 | 2.8 | 6.7 | |
| | 5 | IZQUIERDA | 85-94 | 20-25 | 3.3 | 7.7 | |
| | | DERECHA | 87-95 | 20-26 | 2.5 | 5.9 | |
| | 6 | IZQUIERDA | 80-95 | 20-25 | 2.3 | 5.5 | |
| | | DERECHA | 79-89 | 20-26 | 1.5 | 3.5 | |
| TÉCNICA | | | | | | | |
| Número de soldadores: Uno Limpieza inicial y entre pases: Picaescoria y Grata eléctrica Tipo de cordón: Recto y Oscilado Velocidad de avance costura longitudinal parte superior: (2-2.7 mm/s) [5-7 ipm] Velocidad de avance costura longitudinal parte inferior: (2.1-2.3 mm/s) [5-5.4 ipm] Velocidad de avance costura circular parte superior: (2.3-3.9 mm/s) [5.5-9.2 ipm] Velocidad de avance costura circular parte inferior: (1.5-3.3 mm/s) [3.5-7.7 ipm] | | | | | | | |

ANEXO 4. RENDIMIENTOS DE LOS MATERIALES DE APORTE

Tablas de deposición y eficiencia de electrodos recubiertos

6010

| DIA. | AMP. | DEP. kg/h | EFIC. % |
|------|------|--------------|------------|
| 1/8 | 100 | 0.95 | 76.3 |
| | 130 | 1.05 | 88.8 |
| 5/32 | 140 | 1.27 | 73.6 |
| | 170 | 1.32 | 84.1 |
| 3/16 | 180 | 1.5 | 74.9 |
| | 190 | 1.59 | 89.7 |
| 1/4 | 220 | 2.68 | 77.9 |
| | 260 | 2.82 | 76.2 |

6011

| DIA. | AMP. | DEP. kg/h | EFIC. % |
|------|------|--------------|------------|
| 3/32 | 120 | 1.05 | 70.7 |
| 1/8 | 150 | 1.68 | 77 |
| 5/32 | 190 | 1.86 | 73.4 |
| 3/16 | 250 | 2.54 | 71.9 |

6012

| DIA. | AMP. | DEP. kg/h | EFIC. % |
|------|------|--------------|------------|
| 3/32 | 130 | 1.32 | 81.8 |
| 1/8 | 165 | 1.45 | 78.8 |
| | 200 | 1.55 | 69 |
| 5/32 | 220 | 1.82 | 77 |
| | 250 | 1.91 | 74.5 |
| 3/16 | 320 | 2.55 | 70 |
| | 360 | 3 | 67.7 |
| | 380 | 3.23 | 66 |

6013

| DIA. | AMP. | DEP. kg/h | EFIC. % |
|------|------|--------------|------------|
| 1/8 | 140 | 1.18 | 75.6 |
| | 160 | 1.36 | 74.1 |
| | 190 | 1.59 | 71.2 |
| 5/32 | 180 | 1.45 | 73.9 |
| | 200 | 1.73 | 71.1 |
| | 220 | 1.86 | 72.9 |
| 3/16 | 200 | 2.82 | 75 |
| | 310 | 2.95 | 73.5 |
| | 310 | 3.23 | 72.1 |

7024

| DIA. | AMP. | DEP. kg/h | EFIC. % |
|------|------|--------------|------------|
| | 140 | 1.91 | 71.8 |
| 1/8 | 180 | 2.32 | 70.7 |
| | 100 | 2.41 | 71.0 |
| 5/32 | 210 | 2.86 | 72.5 |
| | 240 | 3.27 | 69.4 |
| 3/16 | 245 | 3.41 | 69.2 |
| | 270 | 3.77 | 70.5 |
| 1/4 | 290 | 4.14 | 68 |
| | 400 | 5.73 | 71.7 |

7018, 8018, 9018, 10018,

| DIA. | AMP. | DEP. kg/h | EFIC. % |
|------|------|--------------|------------|
| | 70 | 0.82 | 70.5 |
| 3/32 | 90 | 0.75 | 68.3 |
| | 110 | 0.79 | 74.4 |
| | 120 | 1.17 | 71.0 |
| 1/8 | 140 | 1.25 | 70.9 |
| | 160 | 1.36 | 68.1 |
| | 140 | 1.41 | 75 |
| 5/32 | 170 | 1.72 | 79.5 |
| | 200 | 1.96 | 73 |
| | 200 | 2.2 | 76.4 |
| 3/16 | 250 | 2.44 | 74.6 |
| | 300 | 2.55 | 70.3 |
| | 300 | 3.51 | 78 |
| 1/4 | 350 | 3.94 | 77 |
| | 400 | 4.11 | 74 |

Fuente ESAB-CONARCO.

Tabla de velocidad de deposición para alambre ER70S-6

| Wire Size (in) | Wire Feed (in/min) | Current (A) | Arc Voltage (V) | Deposition rate (lbs/hr) | Deposition Efficiency (%) |
|----------------|--------------------|-------------|-----------------|--------------------------|---------------------------|
| 0.035 | 75 | 60 | 16-17 | 1.2 | 95 - 96 |
| | 110 | 80 | 17-18 | 1.8 | |
| | 150 | 100 | 18-19 | 2.4 | |
| | 190 | 120 | 19-20 | 3.0 | |
| | 235 | 140 | 20-21 | 3.8 | |
| 0.045 | 105 | 100 | 19-21 | 3.0 | 94 - 95 |
| | 125 | 120 | 20-21 | 3.5 | |
| | 155 | 140 | 21-22 | 4.4 | |
| | 190 | 160 | 22-23 | 5.4 | |
| | 225 | 180 | 23-24 | 6.0 | |
| | 260 | 200 | 24-25 | 6.5 | |
| | 300 | 220 | 26-27 | 7.3 | |
| | 335 | 240 | 28-29 | 8.5 | |
| | 370 | 260 | 30-31 | 9.5 | |
| | 415 | 280 | 31-32 | 10.8 | |
| | 455 | 300 | 32-33 | 11.9 | |

Fuente Soldaduras West Arco

Tabla de velocidad de deposición para alambre E71T-1C

| Wire Size | Wire Feeding Speed (in/min) | Current (A) DC-EP | Voltage (V) | Deposition Rate (lbs/hr) | Wire Stick Out (in) |
|-----------|-----------------------------|----------------------|-------------|--------------------------|---------------------|
| .045 | 140 | 120 | 23-26 | 4.0 | 3/4 |
| | 200 | 160 | 25-28 | 6.0 | 3/4 |
| | 290 | 200 | 27-30 | 8.0 | 3/4 |
| | 330 | 220 | 27-30 | 9.0 | 3/4 |
| | 400 | 250 | 28-30 | 10.5 | 3/4 |
| .052 | 120 | 140 | 24-27 | 3.5 | 3/4 |
| | 175 | 180 | 24-27 | 5.5 | 3/4 |
| | 265 | 240 | 26-28 | 8.5 | 3/4 |
| | 300 | 260 | 27-29 | 10.0 | 1 |
| | 395 | 300 | 29-31 | 11.5 | 1 |
| 1/16 | 100 | 180 | 24-27 | 4.5 | 3/4 |
| | 165 | 240 | 25-28 | 7.0 | 3/4 |
| | 190 | 260 | 26-29 | 8.0 | 1 |
| | 250 | 300 | 29-31 | 10.0 | 1 |
| | 300 | 340 | 30-32 | 11.5 | 1 |

* Voltage shown are for 100% CO₂ gas. For 75%Ar+25%CO₂ use 2 volts less than shown here.

Fuente Soldaduras West Arco

ANEXO 5. TIPOS DE REPARACION EN TUBERIAS DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

METODOS DE REPARACION SIN ABOLLADURAS, ARRUGAS Y DISTORSIONES

| TIPO DE DEFECTO | METODOS DE REPARACION | | | | | | | | |
|--|-----------------------|-------------------------|----------------------------------|---------------|---------------|------------------|---------------------|--------------------------|------------|
| | REEMPLAZO | REMOCION POR ESMERILADO | DEPOSICION DE METAL DE SOLDADURA | CAMISA TIPO A | CAMISA TIPO B | CAMISA COMPUESTA | ABRAZADERA MECANICA | DERIVACIONES EN CALIENTE | ACCESORIOS |
| CORROSION EXTERNA <= 80% ESPESOR (EXCLUYENDO RANURAS, CORROSION SELECTIVA O PREFERENCIAL DE COSTURAS ERW, EFW) | SI | NO | LIMITADO | LIMITADO | SI | SI | SI | LIMITADO | LIMITADO |
| CORROSION EXTERNA > 80% ESPESOR | SI | NO | NO | NO | SI | NO | SI | LIMITADO | LIMITADO |
| CORROSION INTERNA <= 80% ESPESOR | SI | NO | NO | LIMITADO | SI | LIMITADO | SI | LIMITADO | NO |
| CORROSION INTERNA > 80% ESPESOR | SI | NO | NO | NO | SI | NO | SI | LIMITADO | NO |
| RASGADURAS, CORROSION SELECTIVA O PREFERENCIAL DE COSTURAS ERW, EFW | SI | NO | NO | NO | SI | NO | SI | LIMITADO | NO |
| RAYADURAS, RASGADURAS, QUEMADURAS DE ARCO | SI | LIMITADO | NO | LIMITADO | SI | LIMITADO | SI | LIMITADO | LIMITADO |
| FISURAS | SI | LIMITADO | NO | LIMITADO | SI | LIMITADO | SI | LIMITADO | NO |
| PUNTOS DE DUREZA | SI | NO | NO | LIMITADO | SI | NO | SI | LIMITADO | NO |
| AMPOLLAS | SI | NO | NO | NO | SI | NO | SI | LIMITADO | NO |
| DEFECTOLOGIA EN SOLDADURA CIRCUNFERENCIAL | SI | NO | LIMITADO | NO | SI | NO | SI | NO | NO |
| LAMINACION | SI | NO | NO | NO | SI | NO | SI | NO | NO |

Fuente ASME B31.4

METODOS DE REPARACION PARA ABOLLADURAS, ARRUGAS y DISTORSIONES

| TIPO DE DEFECTO | METODOS DE REPARACION | | | | | |
|--|-----------------------|-------------------------|---------------|---------------|------------------|---------------------|
| | REEMPLAZO | REMOCION POR ESMERILADO | CAMISA TIPO A | CAMISA TIPO B | CAMISA COMPUESTA | ABRAZADERA MECANICA |
| ABOLLADURAS <= 6% DEL DIAMETRO DE LA TUBERIA CON COSTURA O SOLDADURA CIRCUNFERENCIAL | SI | NO | LIMITADO | SI | LIMITADO | SI |
| ABOLLADURAS <= 6% DEL DIAMETRO DE LA TUBERIA CONTENGA CORTES, ACANALADURAS, GRIETAS | SI | LIMITADO | LIMITADO | SI | LIMITADO | SI |
| ABOLLADURAS <= 6% DEL DIAMETRO DE LA TUBERIA CONTENGA CORROSION EXTERNA CON PROFUNDIDAD EXCEDA 12,5% DEL ESPESOR DE LA PARED | SI | NO | LIMITADO | SI | LIMITADO | SI |
| DENTADOS EXCEDAN EL 6% DEL DIAMETRO DE LA TUBERIA | SI | NO | LIMITADO | SI | LIMITADO | SI |
| DISTORSIONES, ONDULACIONES, ARRUGAS | SI | NO | LIMITADO | SI | NO | SI |
| FUGAS EN ACCESORIOS | SI | NO | NO | SI | NO | SI |
| DEFECTOS EN CAMISAS | SI | NO | NO | SI | NO | SI |

Fuente ASME B31.4

ANEXO 6. SIMULACION No.1

CALCULO DE COSTOS DE SOLDADURA

1. SELECCIÓN MATERIAL BASE
 GRADO API SL X52
 DIAMETRO 10,75 Inches
 ESPESOR 0,344 Inches

2. SELECCION DEL PROCESO

SMAW
GTAW
GMAW
FCAW-G

3. DISEÑO DE LA JUNTA
 3.1 TIPO DE SOLDADURA

RANURA BISEL RECTO
RANURA BISEL EN V
FILETE

 3.2 TIPO DE REPARACION

SUSTITUIR
CAMISAS

DATOS:
 ESPESOR 0,344 Inches
 ABERTURA DE RAIZ 0,078125 Inches
 CARA DE LA RAIZ 0,078125 Inches
 REFUERZO 0,0625 Inches
 ANGULO DEL BISEL 30 Inches
 LONGITUD 0 Inches
 PERIMETRO 33,7721 Inches
 PIERNA 1 0 Inches
 PIERNA 2 0 Inches
 PERIMETRO 0 Inches
 LONGITUD 0 Inches

BORRAR

3.3 CALCULO DEL AREA

| | | | | | |
|---------------------------|---------|--------|--------------|-----------|-------|
| AREA | 0,26999 | in² | EQUIVALENCIA | 1,74187 | cm² |
| VOLUMEN | 9,11817 | in³ | | 149,41544 | cm³ |
| DENSIDAD | 0,28430 | lb/in³ | | 7,86939 | g/cm³ |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 1,17587 | Kg | | 1,17584 | kg |

4. SELECCIÓN MATERIAL DE APORTE

| | | | |
|-----------------|-------------|-----------------|-------------|
| VARILLA/ALAMBRE | E6010 | VARILLA/ALAMBRE | E7010-A1 |
| DIAMETRO | 1/8 | DIAMETRO | 3/16 |
| AMPERAJE | 90-120 | AMPERAJE | 150-180 |
| VOLTAJE | 24-30 | VOLTAJE | 24-30 |
| VEL. DEPOSICION | 0,950-1,050 | VEL. DEPOSICION | 1,500-1,590 |

5. COSTOS TOTALES
5.1 COSTO DE MATERIALES DE SOLDADURA
5.1.1 COSTO DEL MATERIAL DE APORTE DEPOSITADO

| | | | | |
|------------------------------|----------|-------|------------|-------|
| VALOR DEL ELECTRODO | 7497 | \$/Kg | 12113 | \$/Kg |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,02658 | Kg | 1,14928 | Kg |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 50 - 70% | % | 50 - 70% | % |
| COSTO MAT. APORTE DEPOSITADO | 332,143 | \$ | 23.202,113 | \$ |

5.1.2 VALOR DE GAS

| | | | | |
|-----------------------------|-------------|-------|-------------|-------|
| TIPO DE GAS | | m³ | | m³ |
| VALOR DEL GAS DE PROTECCION | 0 | \$/m³ | 0 | \$/m³ |
| FLUJO DEL GAS DE PROTECCION | 0 | m³/h | 0 | m³/h |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,02658 | Kg | 1,14928 | Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,950-1,050 | Kg/h | 1,500-1,590 | Kg/h |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 50 - 70% | % | 50 - 70% | % |
| FACTOR DE OPERACION | 20 - 60% | % | 20 - 60% | % |
| COSTO DEL GAS DE PROTECCION | 0,000 | \$ | 0,000 | \$ |

5.2 COSTO DE MANO DE OBRA

| | | | | |
|---------------------------|-------------|------|-------------|------|
| VALOR M.O | 46875 | \$/h | 46875 | \$/h |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,02658 | Kg | 1,14928 | Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,950-1,050 | Kg/h | 1,500-1,590 | Kg/h |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 50 - 70% | % | 50 - 70% | % |
| FACTOR DE OPERACION | 20 - 60% | % | 20 - 60% | % |
| COSTO DE MANO DE OBRA | 1.869,050 | \$ | 52.303,544 | \$ |

5.3 COSTO DE ENERGIA

| | | | | |
|---------------------------|-------------|---------------|-------------|---------------|
| TIPO DE ENERGIA | | \$/Kw.H ó Gal | | \$/Kw.H ó Gal |
| VALOR DEL COMBUSTIBLE | 0 | \$/Kw.H ó Gal | 0 | \$/Kw.H ó Gal |
| VOLTAJE DE LA SOLDADURA | 24-30 | Voltios | 24-30 | Voltios |
| AMPERAJE DE LA SOLDADURA | 90-120 | Amperaje | 150-180 | Amperaje |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,02658 | Kg | 1,14928 | Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,950-1,050 | Kg/h | 1,500-1,590 | Kg/h |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 50 - 70% | % | 50 - 70% | % |
| COSTO DE ENERGIA | 0,000 | \$ | 0,000 | \$ |

5.4 COSTO DE CIF

| | | | | |
|---------------------------|-------------|------|-------------|------|
| VALOR DEL COSTO INDIRECTO | 34333 | \$/h | 34333 | \$/h |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,02658 | Kg | 1,14928 | Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,950-1,050 | Kg/h | 1,500-1,590 | Kg/h |
| FACTOR DE OPERACION | 20 - 60% | % | 20 - 60% | % |
| COSTOS CIF | 2.281,625 | \$ | 63.849,067 | \$ |

5.5 COSTO TOTAL

| | | |
|-------------|-------------|----|
| COSTO TOTAL | 143.837,542 | \$ |
|-------------|-------------|----|

ESTADISTICAS

ANEXO 7. SIMULACION No.2

CALCULO DE COSTOS DE SOLDADURA

1. SELECCIÓN MATERIAL BASE
 GRADO API 5L X52
 DIAMETRO 10,75 Inches
 ESPESOR 0,344 Inches

2. SELECCION DEL PROCESO

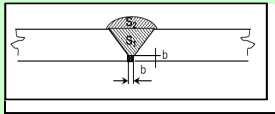
SMAW
GTAW
GMAW
FCAW-G

3. DISEÑO DE LA JUNTA
 3.1 TIPO DE SOLDADURA

RANURA BISEL RECTO
RANURA BISEL EN V
FILETE

 3.2 TIPO DE REPARACION

SUSTITUIR
CAMISAS



BORRAR

DATOS:
 ESPESOR 0,344 Inches
 ABERTURA DE RAIZ 0,078125 Inches
 CARA DE LA RAIZ 0,078125 Inches
 REFUERZO 0,0625 Inches
 ANGULO DEL BISEL 30 Inches
 LONGITUD 0 Inches
 PERIMETRO 33,7721 Inches
 PIERNA 1 0 Inches
 PIERNA 2 0 Inches
 PERIMETRO 0 Inches
 LONGITUD 0 Inches

3.3 CALCULO DEL AREA

| | | | | | |
|---------------------------|---------|--------|--|-----------|-------|
| AREA | 0,26999 | In² | | 1,74187 | cm² |
| VOLUMEN | 9,11817 | In³ | | 149,41944 | cm³ |
| DENSIDAD | 0,28430 | lb/in³ | | 7,86939 | g/cm³ |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 1,17587 | Kg | | 1,17584 | kg |

4. SELECCIÓN MATERIAL DE APORTE

| | |
|--|--|
| VARILLA/ALAMBRE ER70S-6 | VARILLA/ALAMBRE ER70S-6 |
| DIAMETRO 0,035 Inches | DIAMETRO 0,045 Inches |
| AMPERAJE 80-140 Amp | AMPERAJE 120-220 Amp |
| VOLTAJE 15-23 Volt | VOLTAJE 20-30 Volt |
| VEL. DEPOSICION 0,810-1,724 Kg/h | VEL. DEPOSICION 1,580-3,310 Kg/h |

5. COSTOS TOTALES
5.1 COSTO DE MATERIALES DE SOLDADURA
5.1.1 COSTO DEL MATERIAL DE APORTE DEPOSITADO

| | | | | | |
|------------------------------|----------|-------|--|------------|-------|
| VALOR DEL ELECTRODO | 8352 | \$/Kg | | 8352 | \$/Kg |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,02658 | Kg | | 1,14928 | Kg |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 90 - 97% | % | | 90 - 97% | % |
| COSTO MAT. APORTE DEPOSITADO | 237,447 | \$ | | 10,266,111 | \$ |

5.1.2 VALOR DE GAS

| | |
|---|---|
| TIPO DE GAS CO2100% | TIPO DE GAS CO2100% |
| VALOR DEL GAS DE PROTECCION | 6366 |
| FLUJO DEL GAS DE PROTECCION | 0,8 - 1,2 |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,02658 |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,810-1,724 |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 90 - 97% |
| FACTOR DE OPERACION | 30 - 80% |
| COSTO DEL GAS DE PROTECCION | 227,056 |

5.2 COSTO DE MANO DE OBRA

| | | | | | |
|---------------------------|-------------|------|--|-------------|------|
| VALOR M.O | 26042 | \$/h | | 26042 | \$/h |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,02658 | Kg | | 1,14928 | Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,810-1,724 | Kg/h | | 1,580-3,310 | Kg/h |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 90 - 97% | % | | 90 - 97% | % |
| FACTOR DE OPERACION | 30 - 80% | % | | 30 - 80% | % |
| COSTO DE MANO DE OBRA | 928,815 | \$ | | 20,809,704 | \$ |

5.3 COSTO DE ENERGIA

| | |
|--|--|
| TIPO DE ENERGIA DIESEL | TIPO DE ENERGIA DIESEL |
| VALOR DEL COMBUSTIBLE | 8450 |
| VOLTAJE DE LA SOLDADURA | 15-23 |
| AMPERAJE DE LA SOLDADURA | 80-140 |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,02658 |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,810-1,724 |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 90 - 97% |
| COSTO DE ENERGIA | 165,760 |

5.4 COSTO DE CIF

| | | | | | |
|---------------------------|-------------|------|--|-------------|------|
| VALOR DEL COSTO INDIRECTO | 36458 | \$/h | | 36458 | \$/h |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,02658 | Kg | | 1,14928 | Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,810-1,724 | Kg/h | | 1,580-3,310 | Kg/h |
| FACTOR DE OPERACION | 30 - 80% | % | | 30 - 80% | % |
| COSTOS CIF | 1,390,740 | \$ | | 31,158,915 | \$ |

5.5 COSTO TOTAL
 COSTO TOTAL 73.985,418 \$

ESTADISTICAS

ANEXO 8. SIMULACION No.3

CALCULO DE COSTOS DE SOLDADURA

1. SELECCIÓN MATERIAL BASE
 GRADO API SL X52
 DIAMETRO 10,75 Inches
 ESPESOR 0,344 Inches

2. SELECCION DEL PROCESO

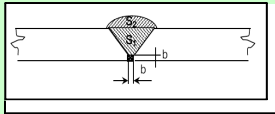
SMAW
GTAW
GMAW
FCAW-G

3. DISEÑO DE LA JUNTA
 3.1 TIPO DE SOLDADURA

RANURA BISEL RECTO
RANURA BISEL EN V
FILETE

 3.2 TIPO DE REPARACION

SUSTITUIR
CAMISAS



BORRAR

DATOS:
 ESPESOR 0,344 Inches
 ABERTURA DE RAIZ 1,74187 Inches
 CARA DE LA RAIZ 0,078125 Inches
 REFUERZO 0,0625 Inches
 ANGULO DEL BISEL 30 Inches
 LONGITUD 0 Inches
 PERIMETRO 33,7721 Inches
 PIERNA 1 0 Inches
 PIERNA 2 0 Inches
 PERIMETRO 0 Inches
 LONGITUD 0 Inches

3.3 CALCULO DEL AREA

| | | | | | |
|---------------------------|---------|--------|--|-----------|-------|
| AREA | 0,26999 | in² | | 1,74187 | cm² |
| VOLUMEN | 9,11817 | in³ | | 149,41544 | cm³ |
| DENSIDAD | 0,28430 | lb/in³ | | 7,86939 | g/cm³ |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 1,17587 | Kg | | 1,17584 | kg |

4. SELECCIÓN MATERIAL DE APORTE

VARILLA/ALAMBRE E71T-1
 DIAMETRO 0,045 Inches
 AMPERAJE 120-220 Amp
 VOLTAJE 22-30 Volt
 VEL. DEPOSICION 1,580-3,620 Kg/h

VARILLA/ALAMBRE E71T-1
 DIAMETRO 0,052 Inches
 AMPERAJE 140-260 Amp
 VOLTAJE 24-32 Volt
 VEL. DEPOSICION 1,580-4,080 Kg/h

5. COSTOS TOTALES
5.1 COSTO DE MATERIALES DE SOLDADURA
5.1.1 COSTO DEL MATERIAL DE APORTE DEPOSITADO

| | | | | | |
|------------------------------|----------|-------|--|------------|-------|
| VALOR DEL ELECTRODO | 11136 | \$/Kg | | 11136 | \$/Kg |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,02658 | Kg | | 1,14928 | Kg |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 80 - 90% | % | | 80 - 90% | % |
| COSTO MAT. APORTE DEPOSITADO | 348,256 | \$ | | 15,056,962 | \$ |

5.1.2 VALOR DE GAS

| | | | | | |
|-----------------------------|-------------|-------|--|-------------|-------|
| TIPO DE GAS | CO2 100% | m³ | | CO2 100% | m³ |
| VALOR DEL GAS DE PROTECCION | 6366 | \$/m³ | | 6366 | \$/m³ |
| FLUJO DEL GAS DE PROTECCION | 1,0 - 1,4 | m³/h | | 1,0 - 1,4 | m³/h |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,02658 | Kg | | 1,14928 | Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 1,580-3,620 | Kg/h | | 1,580-4,080 | Kg/h |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 80 - 90% | % | | 80 - 90% | % |
| FACTOR DE OPERACION | 30 - 80% | % | | 30 - 80% | % |
| COSTO DEL GAS DE PROTECCION | 120,705 | \$ | | 4,794,576 | \$ |

5.2 COSTO DE MANO DE OBRA

| | | | | | |
|---------------------------|-------------|------|--|-------------|------|
| VALOR M.O | 44271 | \$/h | | 44271 | \$/h |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,02658 | Kg | | 1,14928 | Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 1,580-3,620 | Kg/h | | 1,580-4,080 | Kg/h |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 80 - 90% | % | | 80 - 90% | % |
| FACTOR DE OPERACION | 30 - 80% | % | | 30 - 80% | % |
| COSTO DE MANO DE OBRA | 699,502 | \$ | | 27,785,266 | \$ |

5.3 COSTO DE ENERGIA

| | | | | | |
|---------------------------|-------------|----------------|--|-------------|----------------|
| TIPO DE ENERGIA | DIESEL | \$/Kw.H ó Gal) | | DIESEL | \$/Kw.H ó Gal) |
| VALOR DEL COMBUSTIBLE | 8450 | \$/Kw.H ó Gal) | | 8450 | \$/Kw.H ó Gal) |
| VOLTAJE DE LA SOLDADURA | 22-30 | Voltios | | 24-32 | Voltios |
| AMPERAJE DE LA SOLDADURA | 120-220 | Amperaje | | 140-260 | Amperaje |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,02658 | Kg | | 1,14928 | Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 1,580-3,620 | Kg/h | | 1,580-4,080 | Kg/h |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 80 - 90% | % | | 80 - 90% | % |
| COSTO DE ENERGIA | 73,433 | \$ | | 2,916,865 | \$ |

5.4 COSTO DE CIF

| | | | | | |
|---------------------------|-------------|------|--|-------------|------|
| VALOR DEL COSTO INDIRECTO | 39542 | \$/h | | 39542 | \$/h |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,02658 | Kg | | 1,14928 | Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 1,580-3,620 | Kg/h | | 1,580-4,080 | Kg/h |
| FACTOR DE OPERACION | 30 - 80% | % | | 30 - 80% | % |
| COSTOS CIF | 735,034 | \$ | | 29,196,642 | \$ |

5.5 COSTO TOTAL

COSTO TOTAL

81.727,240

\$

ESTADISTICAS

63

ANEXO 9. SIMULACION No.4

CALCULO DE COSTOS DE SOLDADURA

1. SELECCIÓN MATERIAL BASE
 GRADO API SL X65
 DIAMETRO 16 Inches
 ESPESOR 0,344 Inches

2. SELECCION DEL PROCESO

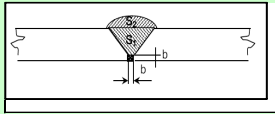
SMAW
GTAW
GMAW
FCAW-G

3. DISEÑO DE LA JUNTA
3.1 TIPO DE SOLDADURA

RANURA BISEL RECTO
RANURA BISEL EN V
FILETE

3.2 TIPO DE REPARACION

SUSTITUIR
CAMISAS



DATOS:
 ESPESOR 0,344 Inches
 ABERTURA DE RAIZ 0,125 Inches
 CARA DE LA RAIZ 0,0625 Inches
 REFUERZO 0,0625 Inches
 ANGULO DEL BISEL 30 Inches
 LONGITUD 0 Inches
 PERIMETRO 50,2655 Inches
 PIERNA 1 0 Inches
 PIERNA 2 0 Inches
 PERIMETRO 0 Inches
 LONGITUD 0 Inches

BORRAR

3.3 CALCULO DEL AREA

| | | | |
|---------------------------|-----------------------------|---------------------|----------------------------|
| AREA | 0,39559 m² | EQUIVALENCIA | 2,52222 cm³ |
| VOLUMEN | 19,88476 m³ | | 325,85157 cm³ |
| DENSIDAD | 0,28430 lb/in³ | | 7,86939 g/cm³ |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 2,56431 Kg | | 2,56425 Kg |

4. SELECCIÓN MATERIAL DE APORTE

| | |
|---|---|
| VARILLA/ALAMBRE E8010-G | VARILLA/ALAMBRE E8010-G |
| DIAMETRO 1/8 Inches | DIAMETRO 3/16 Inches |
| AMPERAJE 90-120 Amp | AMPERAJE 150-180 Amp |
| VOLTAJE 24-30 Volt | VOLTAJE 24-30 Volt |
| VEL. DEPOSICION 0,950-1,050 Kg/h | VEL. DEPOSICION 1,500-1,590 Kg/h |

5. COSTOS TOTALES
5.1 COSTO DE MATERIALES DE SOLDADURA
5.1.1 COSTO DEL MATERIAL DE APORTE DEPOSITADO

| | | |
|------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| VALOR DEL ELECTRODO | 13224 \$/Kg | 13224 \$/Kg |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,05064 Kg | 2,51367 Kg |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 50 - 70% % | 50 - 70% % |
| COSTO MAT. APORTE DEPOSITADO | 1,116,147 \$ | 55,401,212 \$ |

5.1.2 VALOR DE GAS

| | | |
|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| TIPO DE GAS | 0 m³ | 0 m³ |
| VALOR DEL GAS DE PROTECCION | 0 \$/m³ | 0 \$/m³ |
| FLUJO DEL GAS DE PROTECCION | 0 m³/h | 0 m³/h |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,05064 Kg | 2,51367 Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,950-1,050 Kg/h | 1,500-1,590 Kg/h |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 50 - 70% % | 50 - 70% % |
| FACTOR DE OPERACION | 20 - 60% % | 20 - 60% % |
| COSTO DEL GAS DE PROTECCION | 0,000 \$ | 0,000 \$ |

5.2 COSTO DE MANO DE OBRA

| | | |
|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| VALOR M.O | 46875 \$/h | 46875 \$/h |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,05064 Kg | 2,51367 Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,950-1,050 Kg/h | 1,500-1,590 Kg/h |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 50 - 70% % | 50 - 70% % |
| FACTOR DE OPERACION | 20 - 60% % | 20 - 60% % |
| COSTO DE MANO DE OBRA | 3,560,757 \$ | 114,396,236 \$ |

5.3 COSTO DE ENERGIA

| | | |
|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| TIPO DE ENERGIA | 0 \$/(Kw.H ó Gal) | 0 \$/(Kw.H ó Gal) |
| VALOR DEL COMBUSTIBLE | 0 \$/(Kw.H ó Gal) | 0 \$/(Kw.H ó Gal) |
| VOLTAJE DE LA SOLDADURA | 24-30 Voltios | 24-30 Voltios |
| AMPERAJE DE LA SOLDADURA | 90-120 Amperaje | 150-180 Amperaje |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,05064 Kg | 2,51367 Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,950-1,050 Kg/h | 1,500-1,590 Kg/h |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 50 - 70% % | 50 - 70% % |
| COSTO DE ENERGIA | 0,000 \$ | 0,000 \$ |

5.4 COSTO DE CIF

| | | |
|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| VALOR DEL COSTO INDIRECTO | 34333 \$/h | 34333 \$/h |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,05064 Kg | 2,51367 Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,950-1,050 Kg/h | 1,500-1,590 Kg/h |
| FACTOR DE OPERACION | 20 - 60% % | 20 - 60% % |
| COSTOS CIF | 4,346,761 \$ | 139,648,145 \$ |

5.5 COSTO TOTAL

| | |
|-------------|-----------------------------|
| COSTO TOTAL | 318,469,258 \$ |
|-------------|-----------------------------|

ESTADISTICAS

ANEXO 10. SIMULACION No.5

CALCULO DE COSTOS DE SOLDADURA

1. SELECCIÓN MATERIAL BASE

GRADO API SL X65

DIAMETRO 16 Inches

ESPESOR 0,344 Inches

2. SELECCION DEL PROCESO

3. DISEÑO DE LA JUNTA

3.1 TIPO DE SOLDADURA

3.2 TIPO DE REPARACION

DATOS:

ESPESOR 0,344 Inches

ABERTURA DE RAIZ 0,125 Inches

CARA DE LA RAIZ 0,0625 Inches

REFUERZO 0,0625 Inches

ANGULO DEL BISEL 30 Inches

LONGITUD 0 Inches

PERIMETRO 50,2655 Inches

PIERNA 1 0 Inches

PIERNA 2 0 Inches

PERIMETRO 0 Inches

LONGITUD 0 Inches

3.3 CALCULO DEL AREA

| | | | | | |
|---------------------------|----------|--------|--------------|-----------|-------|
| AREA | 0,39559 | in² | EQUIVALENCIA | 2,55222 | cm² |
| VOLUMEN | 19,88476 | in³ | | 325,85157 | cm³ |
| DENSIDAD | 0,28430 | lb/in³ | | 7,86939 | g/cm³ |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 2,56431 | Kg | | 2,56425 | kg |

4. SELECCIÓN MATERIAL DE APORTE

VARILLA/ALAMBRE ER70S-6

DIAMETRO 0,035 Inches

AMPERAJE 80-140 Amp

VOLTAJE 15-23 Volt

VEL. DEPOSICION 0,810-1,724 Kg/h

VARILLA/ALAMBRE ER70S-6

DIAMETRO 0,045 Inches

AMPERAJE 120-220 Amp

VOLTAJE 20-30 Volt

VEL. DEPOSICION 1,580-3,310 Kg/h

5. COSTOS TOTALES

5.1 COSTO DE MATERIALES DE SOLDADURA

5.1.1 COSTO DEL MATERIAL DE APORTE DEPOSITADO

| | | | | |
|------------------------------|----------|-------|------------|-------|
| VALOR DEL ELECTRODO | 8352 | \$/Kg | 8352 | \$/Kg |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,05064 | Kg | 2,51367 | Kg |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 90 - 97% | % | 90 - 97% | % |
| COSTO MAT. APORTE DEPOSITADO | 452,365 | \$ | 22.453,630 | \$ |

5.1.2 VALOR DE GAS

| TIPO DE GAS | CO2100% | m³ | CO2100% | m³ |
|-----------------------------|-------------|-------|-------------|-------|
| VALOR DEL GAS DE PROTECCION | 6366 | \$/m³ | 6366 | \$/m³ |
| FLUJO DEL GAS DE PROTECCION | 0,8 - 1,2 | m³/h | 0,8 - 1,2 | m³/h |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,05064 | Kg | 2,51367 | Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,810-1,724 | Kg/h | 1,580-3,310 | Kg/h |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 90 - 97% | % | 90 - 97% | % |
| FACTOR DE OPERACION | 30 - 80% | % | 30 - 80% | % |
| COSTO DEL GAS DE PROTECCION | 432,568 | \$ | 11.126,276 | \$ |

5.2 COSTO DE MANO DE OBRA

| | | | | |
|---------------------------|-------------|------|-------------|------|
| VALOR M.O | 26042 | \$/h | 26042 | \$/h |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,05064 | Kg | 2,51367 | Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,810-1,724 | Kg/h | 1,580-3,310 | Kg/h |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 90 - 97% | % | 90 - 97% | % |
| FACTOR DE OPERACION | 30 - 80% | % | 30 - 80% | % |
| COSTO DE MANO DE OBRA | 1.769,501 | \$ | 45.514,158 | \$ |

5.3 COSTO DE ENERGIA

| TIPO DE ENERGIA | DIESEL | \$/Kw.H ó Gal | DIESEL | \$/Kw.H ó Gal |
|---------------------------|-------------|---------------|-------------|---------------|
| VALOR DEL COMBUSTIBLE | 8450 | \$/Kw.H ó Gal | 8450 | \$/Kw.H ó Gal |
| VOLTAJE DE LA SOLDADURA | 15-23 | Voltios | 20-30 | Voltios |
| AMPERAJE DE LA SOLDADURA | 80-140 | Amperaje | 120-220 | Amperaje |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,05064 | Kg | 2,51367 | Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,810-1,724 | Kg/h | 1,580-3,310 | Kg/h |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 90 - 97% | % | 90 - 97% | % |
| COSTO DE ENERGIA | 315,792 | \$ | 8.122,639 | \$ |

5.4 COSTO DE CIF

| | | | | |
|---------------------------|-------------|------|-------------|------|
| VALOR DEL COSTO INDIRECTO | 36458 | \$/h | 36458 | \$/h |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,05064 | Kg | 2,51367 | Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,810-1,724 | Kg/h | 1,580-3,310 | Kg/h |
| FACTOR DE OPERACION | 30 - 80% | % | 30 - 80% | % |
| COSTOS CIF | 2.649,521 | \$ | 68.149,541 | \$ |

5.5 COSTO TOTAL

COSTO TOTAL 160.985,990 \$

ANEXO 11. SIMULACION No.6

[illegible]

ANEXO 12. SIMULACION No.7

CALCULO DE COSTOS DE SOLDADURA

1. SELECCIÓN MATERIAL BASE
 GRADO API SL X65
 DIAMETRO 16 Inches
 ESPESOR 0,344 Inches

2. SELECCION DEL PROCESO

SMAW
GTAW
GMAW
FCAW-G

3. DISEÑO DE LA JUNTA
 3.1 TIPO DE SOLDADURA

RANURA BISEL RECTO
RANURA BISEL EN V
FILETE

 3.2 TIPO DE REPARACION

SUSTITUIR
CAMISAS

DATOS:

| | | |
|--------------------|---|--------|
| ESPESOR | 0,344 | Inches |
| ABERTURA DE RAIZ | 0,125 | Inches |
| CARA DE LA RAIZ | 0,0625 | Inches |
| REFUERZO | 0,0625 | Inches |
| ANGULO DEL BISEL | 30 | Inches |
| LONGITUD | 0 | Inches |
| PERIMETRO | 50,2655 | Inches |
| PIERNA 1 | 0 | Inches |
| PIERNA 2 | 0 | Inches |
| PERIMETRO LONGITUD | 0 | Inches |

3.3 CALCULO DEL AREA
 AREA 0,39559 ln²
 VOLUMEN 19,88476 ln³
 DENSIDAD 0,28430 lb/ln³
 PESO DEL METAL DEPOSITADO 2,56431 Kg

EQUIVALENCIA
2,55222 cm²
325,85157 cm³
7,86939 g/cm³
2,56425 Kg

4. SELECCIÓN MATERIAL DE APORTE
 VARILLA/ALAMBRE E8010-G VARILLA/ALAMBRE ER70S-6
 DIAMETRO 1/8 Inches DIAMETRO 0,045 Inches
 AMPERAJE 90-120 Amp AMPERAJE 120-220 Amp
 VOLTAJE 24-30 Volt VOLTAJE 20-30 Volt
 VEL. DEPOSICION 0,950-1,050 Kg/h VEL. DEPOSICION 1,580-3,310 Kg/h

5. COSTOS TOTALES
 5.1 COSTO DE MATERIALES DE SOLDADURA
 5.1.1 COSTO DEL MATERIAL DE APORTE DEPOSITADO

| | | |
|------------------------------|--|---|
| VALOR DEL ELECTRODO | 13224 \$/Kg | 8352 \$/Kg |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,05064 Kg | 2,51367 Kg |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 50 - 70% % | 90 - 97% % |
| COSTO MAT. APORTE DEPOSITADO | 1,116,147 \$ | 22,453,630 \$ |

 5.1.2 VALOR DE GAS

| | | |
|-----------------------------|--|--|
| TIPO DE GAS | CO2100% m³ | CO2100% m³ |
| VALOR DEL GAS DE PROTECCION | 0 \$/m³ | 6366 \$/m³ |
| FLUJO DEL GAS DE PROTECCION | 0 m³/h | 0,8 - 1,2 m³/h |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,05064 Kg | 2,51367 Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,950-1,050 Kg/h | 1,580-3,310 Kg/h |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 50 - 70% % | 90 - 97% % |
| FACTOR DE OPERACION | 20 - 60% % | 30 - 80% % |
| COSTO DEL GAS DE PROTECCION | 0,000 \$ | 11,126,276 \$ |

 5.2 COSTO DE MANO DE OBRA

| | | |
|---------------------------|--|--|
| VALOR M.O | 46875 \$/h | 26042 \$/h |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,05064 Kg | 2,51367 Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,950-1,050 Kg/h | 1,580-3,310 Kg/h |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 50 - 70% % | 90 - 97% % |
| FACTOR DE OPERACION | 20 - 60% % | 30 - 80% % |
| COSTO DE MANO DE OBRA | 3,560,757 \$ | 45,514,158 \$ |

 5.3 COSTO DE ENERGIA

| | | |
|---------------------------|--|--|
| TIPO DE ENERGIA | DIESEL \$/(Kw.H ó Gal) | DIESEL \$/(Kw.H ó Gal) |
| VALOR DEL COMBUSTIBLE | 8450 \$/(Kw.H ó Gal) | 8450 \$/(Kw.H ó Gal) |
| VOLTAJE DE LA SOLDADURA | 24-30 Voltios | 20-30 Voltios |
| AMPERAJE DE LA SOLDADURA | 90-120 Amperaje | 120-220 Amperaje |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,05064 Kg | 2,51367 Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,950-1,050 Kg/h | 1,580-3,310 Kg/h |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 50 - 70% % | 90 - 97% % |
| COSTO DE ENERGIA | 256,754 \$ | 8,122,639 \$ |

 5.4 COSTO DE CIF

| | | |
|---------------------------|--|--|
| VALOR DEL COSTO INDIRECTO | 34333 \$/h | 36458 \$/h |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,05064 Kg | 2,51367 Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,950-1,050 Kg/h | 1,580-3,310 Kg/h |
| FACTOR DE OPERACION | 20 - 60% % | 30 - 80% %</ |

ANEXO 13. SIMULACION N0.8.

CALCULO DE COSTOS DE SOLDADURA

1. SELECCIÓN MATERIAL BASE

GRADO API SL:

DIAMETRO: Inches

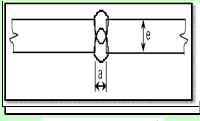
ESPESOR: Inches

2. SELECCIÓN DEL PROCESO

3. DISEÑO DE LA JUNTA

3.1 TIPO DE SOLDADURA

3.2 TIPO DE REPARACION



DATOS:

ESPESOR: Inches

ABERTURA DE RAIZ: Inches

CARA DE LA RAIZ: Inches

REFUERZO: Inches

ANGULO DEL BISEL: Inches

LONGITUD: Inches

PERIMETRO: Inches

PIERNA 1: Inches

PIERNA 2: Inches

PERIMETRO: Inches

LONGITUD: Inches

3.3 CALCULO DEL AREA

| | | EQUIVALENCIA |
|---------------------------|----------------|---------------|
| AREA | 0.06835 in² | 0.44100 cm² |
| VOLUMEN | 0.08356 in³ | 11.20147 cm³ |
| DENSIDAD | 0.28430 lb/in³ | 7.86939 g/cm³ |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0.08815 Kg | 0.08815 Kg |

4. SELECCIÓN MATERIAL DE APORTE

VARILLA/LAMBRE:

DIAMETRO: Inches

AMPERAJE: Amp

VOLTAJE: Volt

VEL. DEPOSICION: Kg/h

VARILLA/LAMBRE:

DIAMETRO: Inches

AMPERAJE: Amp

VOLTAJE: Volt

VEL. DEPOSICION: Kg/h

5. COSTOS TOTALES

5.1 COSTO DE MATERIALES DE SOLDADURA

5.1.1 COSTO DEL MATERIAL DE APORTE DEPOSITADO

| VALOR DEL ELECTRODO | 8352 \$/Kg | 8352 \$/Kg |
|------------------------------|------------|------------|
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0.01813 Kg | 0.07002 Kg |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 90 - 97% | 90 - 97% |
| COSTO MAT. APORTE DEPOSITADO | 161.391 \$ | 625.425 \$ |

5.1.2 VALOR DE GAS

| | CO2 100% m³ | CO2 100% m³ |
|-----------------------------|------------------|------------------|
| TIPO DE GAS | CO2 100% | CO2 100% |
| VALOR DEL GAS DE PROTECCION | 15569 \$/m³ | 15569 \$/m³ |
| FLUJO DEL GAS DE PROTECCION | 0.8 - 1.2 m³/h | 0.8 - 1.2 m³/h |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0.02418 Kg | 0.07002 Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0.810-1.724 Kg/h | 0.810-1.724 Kg/h |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 90 - 97% | 90 - 97% |
| FACTOR DE OPERACION | 30 - 80% | 30 - 80% |
| COSTO DEL GAS DE PROTECCION | 505.117 \$ | 1.462.640 \$ |

5.2 COSTO DE MANO DE OBRA

| VALOR M.O | 20833 \$/h | 20833 \$/h |
|---------------------------|------------------|------------------|
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0.02418 Kg | 0.07002 Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0.810-1.724 Kg/h | 0.810-1.724 Kg/h |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 90 - 97% | 90 - 97% |
| FACTOR DE OPERACION | 30 - 80% | 30 - 80% |
| COSTO DE MANO DE OBRA | 675.900 \$ | 1.957.165 \$ |

5.3 COSTO DE ENERGIA

| | DIESEL \$/(Kw.H ó Gal) | DIESEL \$/(Kw.H ó Gal) |
|---------------------------|------------------------|------------------------|
| TIPO DE ENERGIA | DIESEL | DIESEL |
| VALOR DEL COMBUSTIBLE | 8450 \$/(Kw.H ó Gal) | 8450 \$/(Kw.H ó Gal) |
| VOLTAJE DE LA SOLDADURA | 15-23 Voltios | 15-23 Voltios |
| AMPERAJE DE LA SOLDADURA | 80-140 Amperaje | 80-140 Amperaje |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0.02418 Kg | 0.07002 Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0.810-1.724 Kg/h | 0.810-1.724 Kg/h |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 90 - 97% | 90 - 97% |
| COSTO DE ENERGIA | 150.780 \$ | 436.604 \$ |

5.4 COSTO DE CIF

| VALOR DEL COSTO INDIRECTO | 36458 \$/h | 36458 \$/h |
|---------------------------|------------------|------------------|
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0.02418 Kg | 0.07002 Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0.810-1.724 Kg/h | 0.810-1.724 Kg/h |
| FACTOR DE OPERACION | 30 - 80% | 30 - 80% |
| COSTOS CIF | 1.265.053 \$ | 3.663.143 \$ |

5.5 COSTO TOTAL

COSTO TOTAL \$

CALCULO DE COSTOS DE SOLDADURA

1. SELECCIÓN MATERIAL BASE

GRADO API SL:

DIAMETRO: Inches

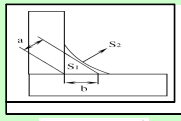
ESPESOR: Inches

2. SELECCIÓN DEL PROCESO

3. DISEÑO DE LA JUNTA

3.1 TIPO DE SOLDADURA

3.2 TIPO DE REPARACION



DATOS:

ESPESOR: Inches

ABERTURA DE RAIZ: Inches

CARA DE LA RAIZ: Inches

REFUERZO: Inches

ANGULO DEL BISEL: Inches

LONGITUD: Inches

PERIMETRO: Inches

PIERNA 1: Inches

PIERNA 2: Inches

PERIMETRO: Inches

LONGITUD: Inches

3.3 CALCULO DEL AREA

| | | EQUIVALENCIA |
|---------------------------|----------------|---------------|
| AREA | 0.07030 in² | 0.45356 cm² |
| VOLUMEN | 2.84233 in³ | 46.57721 cm³ |
| DENSIDAD | 0.28430 lb/in³ | 7.86939 g/cm³ |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0.36654 Kg | 0.36654 Kg |

4. SELECCIÓN MATERIAL DE APORTE

VARILLA/LAMBRE:

DIAMETRO: Inches

AMPERAJE: Amp

VOLTAJE: Volt

VEL. DEPOSICION: Kg/h

VARILLA/LAMBRE:

DIAMETRO: Inches

AMPERAJE: Amp

VOLTAJE: Volt

VEL. DEPOSICION: Kg/h

5. COSTOS TOTALES

5.1 COSTO DE MATERIALES DE SOLDADURA

5.1.1 COSTO DEL MATERIAL DE APORTE DEPOSITADO

| VALOR DEL ELECTRODO | 7291 \$/Kg | 7291 \$/Kg |
|------------------------------|------------|--------------|
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0.07331 Kg | 0.29323 Kg |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 50 - 70% | 50 - 70% |
| COSTO MAT. APORTE DEPOSITADO | 890.620 \$ | 3.563.278 \$ |

5.1.2 VALOR DE GAS

| | m³ | m³ |
|-----------------------------|------------------|------------------|
| TIPO DE GAS | | |
| VALOR DEL GAS DE PROTECCION | 0 \$/m³ | 0 \$/m³ |
| FLUJO DEL GAS DE PROTECCION | 0 m³/h | 0 m³/h |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0.07331 Kg | 0.29323 Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0.620-1.170 Kg/h | 0.620-1.170 Kg/h |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 50 - 70% | 50 - 70% |
| FACTOR DE OPERACION | 20 - 60% | 20 - 60% |
| COSTO DEL GAS DE PROTECCION | 0.000 \$ | 0.000 \$ |

5.2 COSTO DE MANO DE OBRA

| VALOR M.O | 46875 \$/h | 46875 \$/h |
|---------------------------|------------------|------------------|
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0.07331 Kg | 0.29323 Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0.620-1.170 Kg/h | 0.620-1.170 Kg/h |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 50 - 70% | 50 - 70% |
| FACTOR DE OPERACION | 20 - 60% | 20 - 60% |
| COSTO DE MANO DE OBRA | 5.759.210 \$ | 23.036.865 \$ |

5.3 COSTO DE ENERGIA

| | DIESEL \$/(Kw.H ó Gal) | DIESEL \$/(Kw.H ó Gal) |
|---------------------------|------------------------|------------------------|
| TIPO DE ENERGIA | DIESEL | DIESEL |
| VALOR DEL COMBUSTIBLE | 8450 \$/(Kw.H ó Gal) | 8450 \$/(Kw.H ó Gal) |
| VOLTAJE DE LA SOLDADURA | 22-25 Voltios | 22-25 Voltios |
| AMPERAJE DE LA SOLDADURA | 70-100 Amperaje | 70-100 Amperaje |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0.07331 Kg | 0.29323 Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0.620-1.170 Kg/h | 0.620-1.170 Kg/h |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 50 - 70% | 50 - 70% |
| COSTO DE ENERGIA | 415.278 \$ | 1.661.112 \$ |

5.4 COSTO DE CIF

| VALOR DEL COSTO INDIRECTO | 34333 \$/h | 34333 \$/h |
|---------------------------|------------------|------------------|
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0.07331 Kg | 0.29323 Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0.620-1.170 Kg/h | 0.620-1.170 Kg/h |
| FACTOR DE OPERACION | 20 - 60% | 20 - 60% |
| COSTOS CIF | 7.038.510 \$ | 28.122.080 \$ |

5.5 COSTO TOTAL

COSTO TOTAL \$

ANEXO 14. SIMULACION N0.9.

CALCULO DE COSTOS DE SOLDADURA

1. SELECCIÓN MATERIAL BASE

GRADO API 5L:

DIAMETRO: Inches

ESPESOR: Inches

2. SELECCIÓN DEL PROCESO

SMAW ☐ GTAW ☐ GMAW ☐ FCAW-G ☐

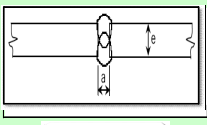
3. DISEÑO DE LA JUNTA

3.1 TIPO DE SOLDADURA

RANURA BISEL RECTO ☐ RANURA BISEL EN V ☐ FILETE ☐

3.2 TIPO DE REPARACION

SUSTITUIR ☐ CAMISAS ☐



DATOS:

ESPESOR: Inches

ABERTURA DE RAIZ: Inches

CARA DE LA RAIZ: Inches

REFUERZO: Inches

ANGULO DEL BISEL: Inches

LONGITUD: Inches

PERIMETRO: Inches

PIERNA 1: Inches

PIERNA 2: Inches

PERIMETRO: Inches

LONGITUD: Inches

3.3 CALCULO DEL AREA

| | | | |
|---------------------------|----------------|--------------|---------------|
| AREA | 0,06836 m² | EQUIVALENCIA | 0,44100 cm² |
| VOLUMEN | 0,68356 in³ | | 11,20147 cm³ |
| DENSIDAD | 0,28430 lb/in³ | | 7,86930 g/cm³ |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,08815 Kg | | 0,08815 kg |

4. SELECCIÓN MATERIAL DE APORTE

VARILLA/ALAMBRE: DIAMETRO: Inches

AMPERAJE: Amp VOLTAJE: Volt

VEL. DEPOSICION: Kgh

5. COSTOS TOTALES

5.1 COSTO DE MATERIALES DE SOLDADURA

5.1.1 COSTO DEL MATERIAL DE APORTE DEPOSITADO

| | | |
|------------------------------|------------|--------------|
| VALOR DEL ELECTRODO | 8352 \$/Kg | 8352 \$/Kg |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,07331 Kg | 0,29323 Kg |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 90 - 97% % | 90 - 97% % |
| COSTO MAT. APORTE DEPOSITADO | 654,806 \$ | 2,619,345 \$ |

5.1.2 VALOR DE GAS

| | | |
|-----------------------------|-----------------|-----------------|
| TIPO DE GAS | CO2 100% m³ | CO2 100% m³ |
| VALOR DEL GAS DE PROTECCION | 6366 \$/m³ | 6366 \$/m³ |
| FLUJO DEL GAS DE PROTECCION | 0,8 - 1,2 m³/h | 0,8 - 1,2 m³/h |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,07331 Kg | 0,29323 Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,810-1,724 Kgh | 0,810-1,724 Kgh |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 90 - 97% % | 90 - 97% % |
| FACTOR DE OPERACION | 30 - 80% % | 30 - 80% % |
| COSTO DEL GAS DE PROTECCION | 626,179 \$ | 2,504,715 \$ |

5.2 COSTO DE MANO DE OBRA

| | | |
|---------------------------|-----------------|-----------------|
| VALOR M.O | 26042 \$/h | 26042 \$/h |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,07331 Kg | 0,29323 Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,810-1,724 Kgh | 0,810-1,724 Kgh |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 90 - 97% % | 90 - 97% % |
| FACTOR DE OPERACION | 30 - 80% % | 30 - 80% % |
| COSTO DE MANO DE OBRA | 633,656 \$ | 2,446,456 \$ |

5.3 COSTO DE ENERGIA

| | | |
|---------------------------|------------------------|------------------------|
| TIPO DE ENERGIA | DIESEL \$/(Kw.H ó Gal) | DIESEL \$/(Kw.H ó Gal) |
| VALOR DEL COMBUSTIBLE | 8450 \$/(Kw.H ó Gal) | 8450 \$/(Kw.H ó Gal) |
| VOLTAJE DE LA SOLDADURA | 15-23 Volts | 15-23 Volts |
| AMPERAJE DE LA SOLDADURA | 80-140 Amperaje | 80-140 Amperaje |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,07331 Kg | 0,29323 Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,810-1,724 Kgh | 0,810-1,724 Kgh |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 90 - 97% % | 90 - 97% % |
| COSTO DE ENERGIA | 113,085 \$ | 436,600 \$ |

5.4 COSTO DE CIF

| | | |
|---------------------------|-----------------|-----------------|
| VALOR DEL COSTO INDIRECTO | 36458 \$/h | 36458 \$/h |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,07331 Kg | 0,29323 Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,810-1,724 Kgh | 0,810-1,724 Kgh |
| FACTOR DE OPERACION | 30 - 80% % | 30 - 80% % |
| COSTOS CIF | 948,790 \$ | 3,663,143 \$ |

5.5 COSTO TOTAL

COSTO TOTAL: \$

CALCULO DE COSTOS DE SOLDADURA

1. SELECCIÓN MATERIAL BASE

GRADO API 5L:

DIAMETRO: Inches

ESPESOR: Inches

2. SELECCIÓN DEL PROCESO

SMAW ☐ GTAW ☐ GMAW ☐ FCAW-G ☐

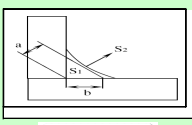
3. DISEÑO DE LA JUNTA

3.1 TIPO DE SOLDADURA

RANURA BISEL RECTO ☐ RANURA BISEL EN V ☐ FILETE ☐

3.2 TIPO DE REPARACION

SUSTITUIR ☐ CAMISAS ☐



DATOS:

ESPESOR: Inches

ABERTURA DE RAIZ: Inches

CARA DE LA RAIZ: Inches

REFUERZO: Inches

ANGULO DEL BISEL: Inches

LONGITUD: Inches

PERIMETRO: Inches

PIERNA 1: Inches

PIERNA 2: Inches

PERIMETRO: Inches

LONGITUD: Inches

3.3 CALCULO DEL AREA

| | | | |
|---------------------------|----------------|--------------|---------------|
| AREA | 0,07010 m² | EQUIVALENCIA | 0,45150 cm² |
| VOLUMEN | 2,84233 in³ | | 46,57721 cm³ |
| DENSIDAD | 0,28430 lb/in³ | | 7,86930 g/cm³ |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,36654 Kg | | 0,36653 kg |

4. SELECCIÓN MATERIAL DE APORTE

VARILLA/ALAMBRE: DIAMETRO: Inches

AMPERAJE: Amp VOLTAJE: Volt

VEL. DEPOSICION: Kgh

5. COSTOS TOTALES

5.1 COSTO DE MATERIALES DE SOLDADURA

5.1.1 COSTO DEL MATERIAL DE APORTE DEPOSITADO

| | | |
|------------------------------|------------|--------------|
| VALOR DEL ELECTRODO | 8352 \$/Kg | 8352 \$/Kg |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,07331 Kg | 0,29323 Kg |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 90 - 97% % | 90 - 97% % |
| COSTO MAT. APORTE DEPOSITADO | 654,806 \$ | 2,619,345 \$ |

5.1.2 VALOR DE GAS

| | | |
|-----------------------------|-----------------|-----------------|
| TIPO DE GAS | CO2 100% m³ | CO2 100% m³ |
| VALOR DEL GAS DE PROTECCION | 6366 \$/m³ | 6366 \$/m³ |
| FLUJO DEL GAS DE PROTECCION | 0,8 - 1,2 m³/h | 0,8 - 1,2 m³/h |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,07331 Kg | 0,29323 Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,810-1,724 Kgh | 0,810-1,724 Kgh |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 90 - 97% % | 90 - 97% % |
| FACTOR DE OPERACION | 30 - 80% % | 30 - 80% % |
| COSTO DEL GAS DE PROTECCION | 626,179 \$ | 2,504,715 \$ |

5.2 COSTO DE MANO DE OBRA

| | | |
|---------------------------|-----------------|-----------------|
| VALOR M.O | 26042 \$/h | 26042 \$/h |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,07331 Kg | 0,29323 Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,810-1,724 Kgh | 0,810-1,724 Kgh |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 90 - 97% % | 90 - 97% % |
| FACTOR DE OPERACION | 30 - 80% % | 30 - 80% % |
| COSTO DE MANO DE OBRA | 2,561,504 \$ | 10,246,014 \$ |

5.3 COSTO DE ENERGIA

| | | |
|---------------------------|------------------------|------------------------|
| TIPO DE ENERGIA | DIESEL \$/(Kw.H ó Gal) | DIESEL \$/(Kw.H ó Gal) |
| VALOR DEL COMBUSTIBLE | 8450 \$/(Kw.H ó Gal) | 8450 \$/(Kw.H ó Gal) |
| VOLTAJE DE LA SOLDADURA | 15-23 Volts | 15-23 Volts |
| AMPERAJE DE LA SOLDADURA | 80-140 Amperaje | 80-140 Amperaje |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,07331 Kg | 0,29323 Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,810-1,724 Kgh | 0,810-1,724 Kgh |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 90 - 97% % | 90 - 97% % |
| COSTO DE ENERGIA | 457,186 \$ | 1,828,549 \$ |

5.4 COSTO DE CIF

| | | |
|---------------------------|-----------------|-----------------|
| VALOR DEL COSTO INDIRECTO | 36458 \$/h | 36458 \$/h |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,07331 Kg | 0,29323 Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,810-1,724 Kgh | 0,810-1,724 Kgh |
| FACTOR DE OPERACION | 30 - 80% % | 30 - 80% % |
| COSTOS CIF | 3,835,409 \$ | 15,341,629 \$ |

5.5 COSTO TOTAL

COSTO TOTAL: \$

ANEXO 15. SIMULACION N0.10.

CALCULO DE COSTOS DE SOLDADURA

1. SELECCIÓN MATERIAL BASE

GRADO API 5L

DIAMETRO Inches

ESPESOR Inches

2. SELECCIÓN DEL PROCESO

3. DISEÑO DE LA JUNTA

3.1 TIPO DE SOLDADURA

3.2 TIPO DE REPARACION

DATOS:

ESPESOR Inches

ABERTURA DE RAIZ Inches

CARA DE LA RAIZ Inches

REFUERZO Inches

ANGULO DEL BISEL Inches

LONGITUD Inches

PERIMETRO Inches

PIERNA 1 Inches

PIERNA 2 Inches

PERIMETRO LONGITUD Inches

3.3 CALCULO DEL AREA

| | | | |
|---------------------------|----------------|--------------|---------------|
| AREA | 0,06836 m² | EQUIVALENCIA | 0,44100 cm² |
| VOLUMEN | 0,68356 m³ | | 11,20147 cm³ |
| DENSIDAD | 0,28430 lb/in³ | | 7,86939 g/cm³ |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,08815 Kg | | 0,08815 kg |

4. SELECCIÓN MATERIAL DE APORTE

VARILLA/ALAMBRE VARILLA/ALAMBRE

DIAMETRO Inches DIAMETRO Inches

AMPERAJE Amp AMPERAJE Amp

VOLTAJE Volt VOLTAJE Volt

VEL. DEPOSICION Kg/h VEL. DEPOSICION Kg/h

5. COSTOS TOTALES

5.1 COSTO DE MATERIALES DE SOLDADURA

5.1.1 COSTO DEL MATERIAL DE APORTE DEPOSITADO

| | | |
|------------------------------|-------------|-------------|
| VALOR DEL ELECTRODO | 729,1 \$/Kg | 835,2 \$/Kg |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,01813 Kg | 0,07002 Kg |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 50 - 70% % | 90 - 97% % |
| COSTO MAT. APORTE DEPOSITADO | 220,368 \$ | 625,425 \$ |

5.1.2 VALOR DE GAS

| | | |
|-----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| TIPO DE GAS | <input type="text" value="CO2 100%"/> | <input type="text" value="CO2 100%"/> |
| VALOR DEL GAS DE PROTECCION | 0 \$/m³ | 6366 \$/m³ |
| FLUJO DEL GAS DE PROTECCION | 0 m³/h | 0,8 - 1,2 m³/h |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,01813 Kg | 0,07002 Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,620-1,170 Kg/h | 0,810-1,724 Kg/h |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 50 - 70% % | 90 - 97% % |
| FACTOR DE OPERACION | 20 - 60% % | 30 - 80% % |
| COSTO DEL GAS DE PROTECCION | 0,000 \$ | 598,054 \$ |

5.2 COSTO DE MANO DE OBRA

| | | |
|---------------------------|------------------|------------------|
| VALOR M.O | 46875 \$/h | 26042 \$/h |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,01813 Kg | 0,07002 Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,620-1,170 Kg/h | 0,810-1,724 Kg/h |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 50 - 70% % | 90 - 97% % |
| FACTOR DE OPERACION | 20 - 60% % | 30 - 80% % |
| COSTO DE MANO DE OBRA | 1.424,695 \$ | 2.446,456 \$ |

5.3 COSTO DE ENERGIA

| | | |
|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| TIPO DE ENERGIA | <input type="text" value="DIESEL"/> | <input type="text" value="DIESEL"/> |
| VALOR DEL COMBUSTIBLE | 8450 \$/(Kw.H ó Gal) | 8450 \$/(Kw.H ó Gal) |
| VOLTAJE DE LA SOLDADURA | 22-26 Voltios | 15-23 Voltios |
| AMPERAJE DE LA SOLDADURA | 70-100 Amperaje | 80-140 Amperaje |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,01813 Kg | 0,07002 Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,620-1,170 Kg/h | 0,810-1,724 Kg/h |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 50 - 70% % | 90 - 97% % |
| COSTO DE ENERGIA | 102,730 \$ | 436,604 \$ |

5.4 COSTO DE CIF

| | | |
|---------------------------|------------------|------------------|
| VALOR DEL COSTO INDIRECTO | 34333 \$/h | 36458 \$/h |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,01813 Kg | 0,07002 Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,620-1,170 Kg/h | 0,810-1,724 Kg/h |
| FACTOR DE OPERACION | 20 - 60% % | 30 - 80% % |
| COSTOS CIF | 1.739,183 \$ | 3.663,143 \$ |

5.5 COSTO TOTAL

COSTO TOTAL \$

CALCULO DE COSTOS DE SOLDADURA

1. SELECCIÓN MATERIAL BASE

GRADO API 5L

DIAMETRO Inches

ESPESOR Inches

2. SELECCIÓN DEL PROCESO

3. DISEÑO DE LA JUNTA

3.1 TIPO DE SOLDADURA

3.2 TIPO DE REPARACION

DATOS:

ESPESOR Inches

ABERTURA DE RAIZ Inches

CARA DE LA RAIZ Inches

REFUERZO Inches

ANGULO DEL BISEL Inches

LONGITUD Inches

PERIMETRO Inches

PIERNA 1 Inches

PIERNA 2 Inches

PERIMETRO LONGITUD Inches

3.3 CALCULO DEL AREA

| | | | |
|---------------------------|----------------|--------------|---------------|
| AREA | 0,07030 m² | EQUIVALENCIA | 0,43156 cm² |
| VOLUMEN | 2,84233 m³ | | 46,57721 cm³ |
| DENSIDAD | 0,28430 lb/in³ | | 7,86939 g/cm³ |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,36654 Kg | | 0,36653 kg |

4. SELECCIÓN MATERIAL DE APORTE

VARILLA/ALAMBRE VARILLA/ALAMBRE

DIAMETRO Inches DIAMETRO Inches

AMPERAJE Amp AMPERAJE Amp

VOLTAJE Volt VOLTAJE Volt

VEL. DEPOSICION Kg/h VEL. DEPOSICION Kg/h

5. COSTOS TOTALES

5.1 COSTO DE MATERIALES DE SOLDADURA

5.1.1 COSTO DEL MATERIAL DE APORTE DEPOSITADO

| | | |
|------------------------------|-------------|--------------|
| VALOR DEL ELECTRODO | 729,1 \$/Kg | 835,2 \$/Kg |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,07331 Kg | 0,29323 Kg |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 50 - 70% % | 90 - 97% % |
| COSTO MAT. APORTE DEPOSITADO | 890,820 \$ | 2.419,345 \$ |

5.1.2 VALOR DE GAS

| | | |
|-----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| TIPO DE GAS | <input type="text" value="CO2 100%"/> | <input type="text" value="CO2 100%"/> |
| VALOR DEL GAS DE PROTECCION | 0 \$/m³ | 6366 \$/m³ |
| FLUJO DEL GAS DE PROTECCION | 0 m³/h | 0,8 - 1,2 m³/h |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,07331 Kg | 0,29323 Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,620-1,170 Kg/h | 0,810-1,724 Kg/h |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 50 - 70% % | 90 - 97% % |
| FACTOR DE OPERACION | 20 - 60% % | 30 - 80% % |
| COSTO DEL GAS DE PROTECCION | 0,000 \$ | 2.504,715 \$ |

5.2 COSTO DE MANO DE OBRA

| | | |
|---------------------------|------------------|------------------|
| VALOR M.O | 46875 \$/h | 26042 \$/h |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,07331 Kg | 0,29323 Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,620-1,170 Kg/h | 0,810-1,724 Kg/h |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 50 - 70% % | 90 - 97% % |
| FACTOR DE OPERACION | 20 - 60% % | 30 - 80% % |
| COSTO DE MANO DE OBRA | 5.759,218 \$ | 10.246,014 \$ |

5.3 COSTO DE ENERGIA

| | | |
|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| TIPO DE ENERGIA | <input type="text" value="DIESEL"/> | <input type="text" value="DIESEL"/> |
| VALOR DEL COMBUSTIBLE | 8450 \$/(Kw.H ó Gal) | 8450 \$/(Kw.H ó Gal) |
| VOLTAJE DE LA SOLDADURA | 22-26 Voltios | 15-23 Voltios |
| AMPERAJE DE LA SOLDADURA | 70-100 Amperaje | 80-140 Amperaje |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,07331 Kg | 0,29323 Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,620-1,170 Kg/h | 0,810-1,724 Kg/h |
| EFICIENCIA DE DEPOSICION | 50 - 70% % | 90 - 97% % |
| COSTO DE ENERGIA | 415,278 \$ | 1.828,545 \$ |

5.4 COSTO DE CIF

| | | |
|---------------------------|------------------|------------------|
| VALOR DEL COSTO INDIRECTO | 34333 \$/h | 36458 \$/h |
| PESO DEL METAL DEPOSITADO | 0,07331 Kg | 0,29323 Kg |
| VELOCIDAD DE DEPOSICION | 0,620-1,170 Kg/h | 0,810-1,724 Kg/h |
| FACTOR DE OPERACION | 20 - 60% % | 30 - 80% % |
| COSTOS CIF | 7.030,510 \$ | 15.341,626 \$ |

5.5 COSTO TOTAL

COSTO TOTAL \$